DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ¨NURSE CALL¨ INALÁMBRICO PARA MONITORIZACIÓN DE PACIENTES HOSPITALIZADOS.

ELKIN HUMBERTO SANCHEZ PEREZ

JOHAN SEBASTIÁN ESTRADA PINEDA

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MEDELLÍN

2014

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ¨NURSE CALL¨ INALÁMBRICO PARA MONITORIZACIÓN DE PACIENTES HOSPITALIZADOS.

ELKIN HUMBERTO SANCHEZ PEREZ

JOHAN SEBASTIÁN ESTRADA PINEDA

Proyecto presentado para optar al título de ingeniería electrónica

Asesor

Gustavo Meneses Benavides

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA SECCIONAL MEDELLÍN

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERIA ELECTRÓNICA

MEDELLIN

2014

Nota de aceptación

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Medellín, 06 de Marzo de 2014

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7

3. OBJETIVO GENERAL 8

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

5. CONCEPTOS Y ELEMENTOS 9

6. ESTADO DEL ARTE 24

7. RESULTADOS 37

8. MANEJO BÁSICO DEL EQUIPO 53

9. CÓDIGOS DE LOS MICROCONTROLADORES 56

9.1 CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR DEL MÓDULO DE LA HABITACIÓN 56

9.2 CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR DEL MÓDULO DEL PUESTO DE ENFERMERÍA 60

10. CONCLUSIONES 67

11. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS CON FINES SIMILARES 68

12.DIAGRAMAS DE FLUJO 69

12.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA CONSOLA 69

12.2 DIAGRAMAS DE FLUJODE LA HABIATACIÓN 70

13. PRESUPUESTO 71

14. REFERENCIAS 72

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema *NURSE CALL* o de “llamado a la enfermera” es un sistema de apoyo que facilita la comunicación del personal de enfermería con los pacientes y de los pacientes con el personal de enfermería, está basado en alarmas sonoras y luminosas para identificar la solicitud del llamado (normal o emergencia) de paciente y establecer una comunicación bidireccional entre paciente y personal del puesto de enfermería. El equipo consta de una consola de control y módulos para cada cama que se comunica entre sí de forma cableada o inalámbrica y tienen diferentes alarmas que identifican la solicitud de llamado, (ver Figura 1).

El personal de enfermería atiende la solicitud del llamado y determina si es emergencia o de información y si es necesario desplazarse hasta la habitación del paciente o resuelve las dudas o necesidades del paciente sin tener que desplazarse a la habitación que realizó el llamado.

Figura 1. Esquema general de un llamado a enfermería.

(Tomado de: http://www.urbansecuritysystems.co.uk/nurse-call.htm)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en el medio local y nacional existen llamados de enfermería análogos, una de las desventajas de estos sistemas es la comunicación con los módulos de habitación de forma cableada y el control es con interruptores electromecánicos, (ver Figura 2).

Figura 2. Puesto de control del llamado a enfermería con interruptores electromecánicos.
(Fuente: Elaboración propia)

El funcionamiento resulta complejo para los usuarios y personal médico por los diferentes procedimientos que se debe realizar para comunicarse con las habitaciones, Otra característica es que la transmisión del audio es muy ruidosa y atenuada, no se escucha correctamente.

Además, implementar el sistema en otras habitaciones, servicios o edificaciones las cuales no fueron diseñadas para el sistema *NURSE CALL*, hace muy costosa su implementación, de igual forma las reparaciones o mantenimientos. Otro factor desfavorable es el alto precio de los equipos *NURSE CALL* inalámbricos que existen en el mercado. Estos equipos por lo general son importados y no cuentan con un buen soporte técnico.

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema *NURSE CALL* inalámbrico para la monitorización de pacientes hospitalizados.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivo específico 1:**
  Diseñar los diferentes circuitos electrónicos y programar los microcontroladores que requiere el sistema.

- **Objetivo específico 2:**
  Implementar los prototipos de los transceptores, de la habitación del paciente y del sitio de control, para el sistema *NURSE CALL*.

- **Objetivo específico 3:**

  Realizar la documentación técnica y manual de usuario.

5. CONCEPTOS Y ELEMENTOS UTILIZADOS

SISTEMA DE LLAMADO A ENFERMERA O “NURSE CALL”

El sistema *NURSE CALL* es un conjunto de varios módulos de habitación y una consola de control y comunicación, ubicada en el puesto de enfermería. Esta consola se puede comunicar con todos los módulos de habitación de forma cableada o inalámbrica, la consola de control y comunicación está conformada por un receptor y un trasmisor FM (Frecuencia Modulada) de audio que soporta transmisión y recepción de tonos DTMF (Tono Duales de Multifrecuencia), un circuito de control que direcciona las llamadas de entrada y salida e identifica si es un llamado normal o de emergencia, circuito amplificador de audio, pantalla de visualización de 2 por 16, teclado matricial, bocina telefónica, circuito de alarma luminoso y sonora y fuente conversora de voltaje AC a DC [1][2], (ver Figura 3 recuadro de color rojo).

Los módulos de habitación están conformados por un receptor y un trasmisor FM (Frecuencia Modulada) de audio que soporta transmisión y recepción de tonos DTMF un circuito de control que direcciona la llamada de entrada o salida e identifica si el llamado de salida es normal o de emergencia, circuito amplificador de audio, pulsador aéreo con cable para el paciente, pulsador de emergencia ubicado en el baño, lámpara ubicada en la parte de afuera de la puerta de ingreso a la habitación y circuito de alarma luminoso [1][2], (ver Figura 3 recuadro de color amarillo).

Figura 3. Elementos que componen un sistema de llamado a enfermería. (Tomado de: http://www.diytrade.com/china/pd/5873183/nurse_call_system.html)

FM: FRECUENCIA MODULADA

La Frecuencia Modulada, FM, es una técnica que se utiliza en radiodifusión para la transmisión de la señal de sonido de televisión, por los sistemas privados de radio móviles terrestres, por satélites de radiodifusión directa, y para sistemas de teléfonos inalámbricos y celulares (ver Figura 4), sólo por nombrar las aplicaciones más comunes [3].

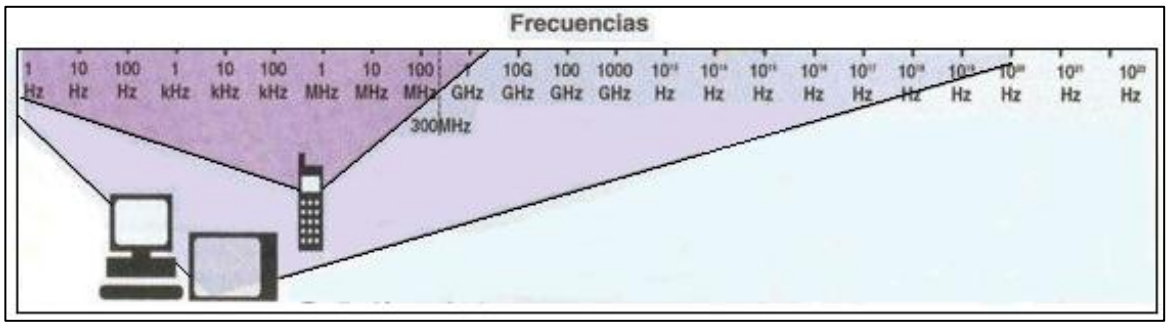


Figura 4. Rango de frecuencias a las cuales funcionan los artefactos comunes que utilizan frecuencia modulada para su funcionamiento. (Tomado de: http://www.proteccioncivil.org/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm020.htm)

El ancho de banda de una señal FM es usualmente determinada por el número de bandas laterales significativas (ver Figura 5), en los tres pares principales de bandas laterales esta contenido el 99% del poder de la señal. FM es mucho más inmune al ruido que AM y ahora es la forma más popular de la modulación analógica [3].

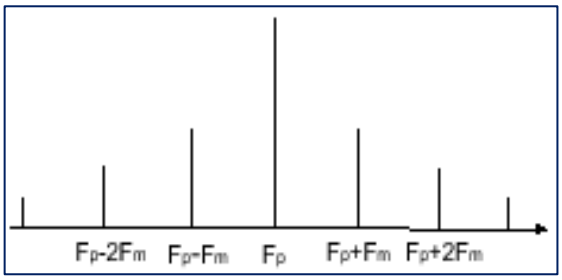


Figura 5. Principales bandas laterales que componen una señal de frecuencia modulada. (Tomado de: http://www.rodrigocadiz.com/imc/html/S_intesis_FM.html)

El transmisor de FM normalmente incorpora un sintetizador de frecuencia PLL (*Phase Locked Loop*) más conocido como fase de bucle programable que puede cubrir toda la banda de operación (ver Figura 6) para el tipo particular de servicio [3][4].

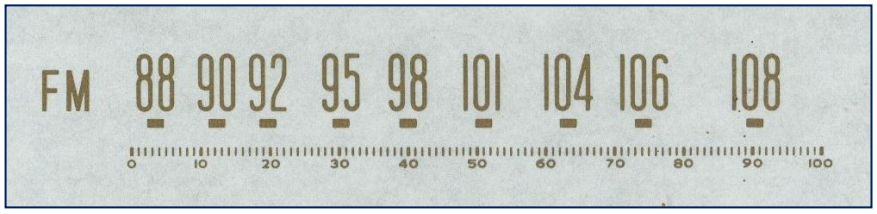


Figura 6. Banda de operación (Megahertz) en la que se difunde la información de FM por la radio (Tomado de http://www.6v6.co.uk/archive/dials/pilotuner-FM607A.JPG)

TX-FM AUDIO Módulo Transmisor (ver Figura 7)

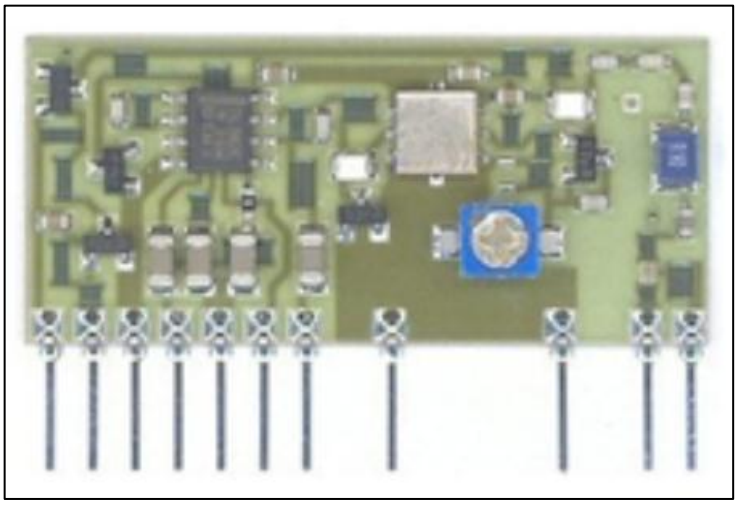


Figura 7. Módulo transmisor de FM fabricado por ABACOM Technologies. (Tomado de: http://www.abacom-tech.com/Audio-RF-Transmitter-Module-TX-FM-AUDIO-P93312.aspx)

Especificaciones técnicas

- Frecuencia portadora: 433.75MHz +/- 100KHz
- Sensibilidad de modulación: 100mVp-p
- Ancho de banda del audio: 20Hz a 30KHz
- Fuente: 12V +/- 10%
- Consumo de 15mA con TX habilitado
- Entrada de impedancia LF: 10KΩ
- Salida de impedancia RF: 50Ω
- Potencia de salida de LF con una carga de 50Ω: 10mW
- Interruptor de encendido en menos de 100us

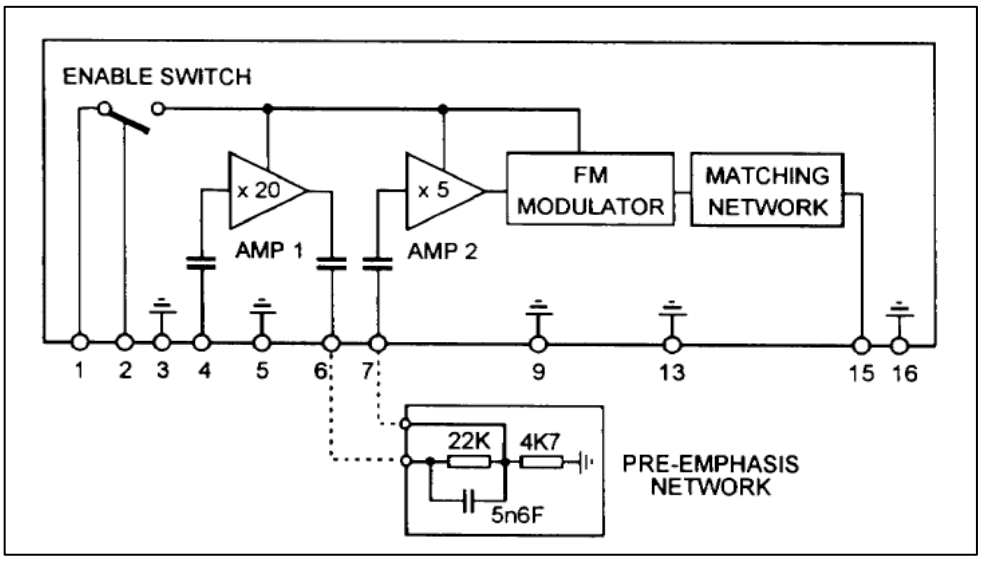


Figura 8. Diagrama de bloques del módulo de TX. (Tomada de: http://www.abacom-tech.com/Audio-RF-Transmitter-Module-TX-FM-AUDIO-P93312.aspx)

RX-FM AUDIO Módulo receptor (ver Figura 9)

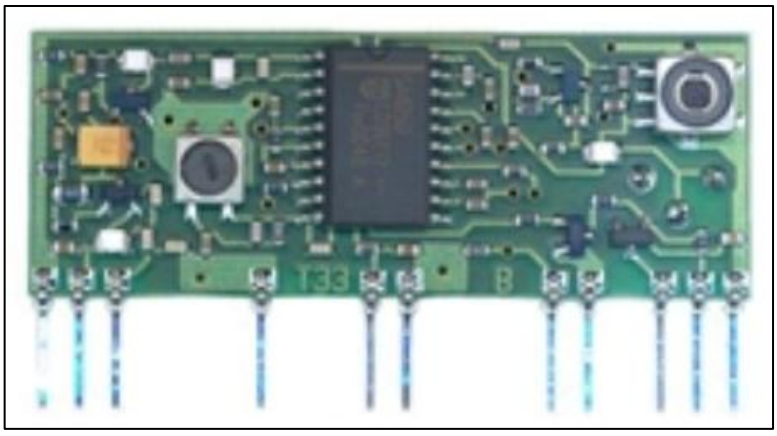


Figura 9. Receptor de FM fabricado por ABACOM Technologies. (Tomado de: http://www.abacom-tech.com/assets/data_sheets/rx_audio.pdf)

Especificaciones técnicas

- Frecuencia de trabajo: 433.8MHz +/- 200KHz

- Impedancia de entrada RF: 50Ω
- Sensibilidad de RF: -100dBm
- Ancho de banda de LF: 20Hz a 20KHz
- Nivel de salida de LF: 100mV+/- 20% RMS
- Ajuste externo del umbral de silenciamiento de -50dBm a -100dBm
- Fuente: 3V con consumo menor de 15mA

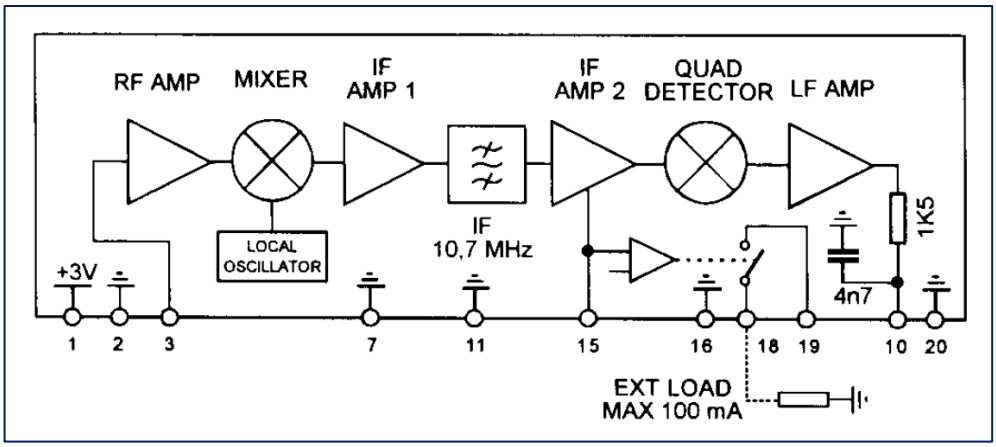


Figura 10. Diagrama de bloques del módulo de RX. (Tomado de: http://www.abacom-tech.com/assets/data_sheets/rx_audio.pdf)

DTMF: TONOS DUALES DE MULTIFRECUENCIA

El estándar DTMF o también llamado sistema multifrecuencial fue diseñado originalmente por los Laboratorios Bell para su uso en los sistemas telefónicos de AT&T, el DTMF se activa cuando el usuario pulsa en el teclado de su teléfono la tecla correspondiente al dígito que quiere marcar, en sí una señal DTMF, es la suma de dos ondas sinusoidales con diferentes frecuencias, una alta y una baja, la frecuencia alta está dada en las columnas y la frecuencia baja está dada en las filas, luego de hacer la suma de ambas señales es decodificada a través de filtros especiales, detectando instantáneamente que dígito se marcó. Las frecuencias de los tonos fueron diseñadas para evitar armónicos y otros problemas que pueden surgir cuando dos tonos son enviados y recibidos [6][8].

Los tonos DTMF se dividen en dos tipos de códigos, el código estándar comprende los números (0-9) y los símbolos * y #, mientras que el código extendido (ver Figura 11) agrega al código estándar las letras (A-D). Las teclas de función A, B, C y D son extensiones de las teclas (0-9, *, #) y fueron diseñadas con los teléfonos militares norteamericanos Autovon. Los nombres originales de estas teclas fueron FO (*Flash Override*), F (*Flash*), I (*Immediate*) y P (Priority) los cuales representaban niveles de prioridad y que podían establecer comunicación telefónica con varios grados de prioridad, eliminando otras conversaciones en la red si era necesario, con la función FO siendo la de mayor prioridad hasta P la de menor prioridad. Estos tonos son más comúnmente referidos como A, B, C y D respectivamente, todos ellos tienen en común 1633 Hz como su tono alto, actualmente estas cuatro teclas son utilizadas para aplicaciones especiales [5][6] [7].

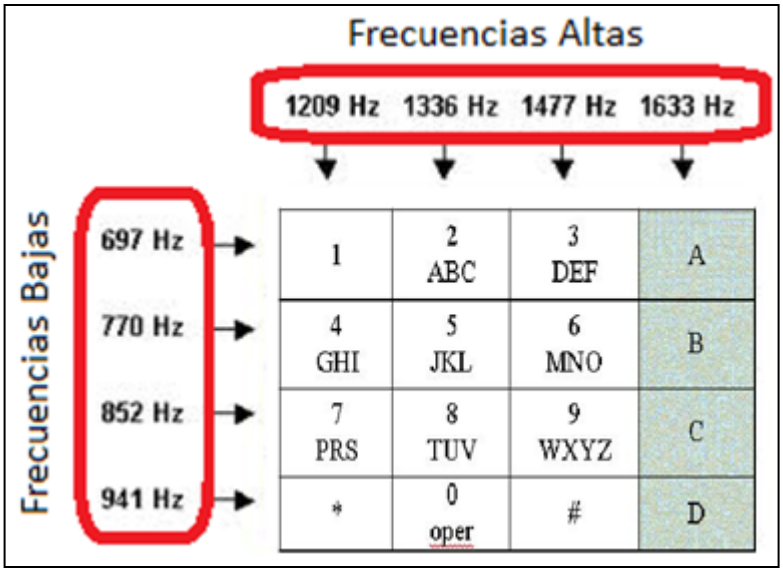


Figura 11. Teclado con tonos DTMF con código extendido y discriminación de las frecuencias entre filas y columnas por cada tecla. (Tomado de: http://mural.uv.es/masimo/DTMF.html)

DECODIFICADOR DE DTMF

El HT9170B, (ver Figura 12) es un dispositivo que está integrado con un decodificador digital y un filtro separador de frecuencias para identificar la señal

DTMF de entrada y muestra en la salida un código binario generando los valores del 0 al 15.

Contiene filtros de condensadores conmutados de alta precisión que se utilizan para dividir las señales de tono en el grupo de las señales bajas y altas para poder identificar los tonos.

Figura 12. Fotografía del encapsulado del decodificador de DTMF HT9170B. (Tomado de: http://www.dongfangic.com/product/10000%5C3478.html)

Características principales del dispositivo

- Voltaje de operación: 2.5V a 5.5V
- Requiere pocos componentes externos para su funcionamiento
- No requiere filtro externo
- Bajo consumo de corriente

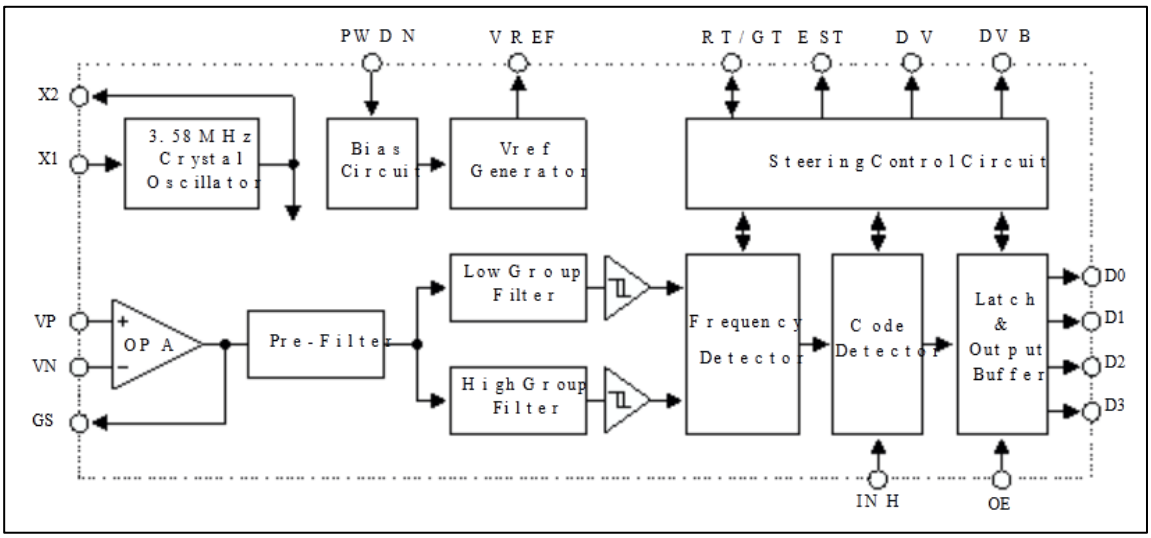


Figura 13. Diagrama de bloques del decodificador HT9170B. (Tomado de: http://html.alldatasheet.com/htmlpdf/64509/HOLTEK/HT9170B/367/2/HT9170B.html)

MICROCONTROLADOR

Un microcontrolador es un circuito integrado que nos ofrece las mismas prestaciones que un computador, en su interior encontramos los componentes básicos que tiene una computadora para su funcionamiento tales como el procesador, memoria, y varios periféricos que se le agregan para mejorar su desempeño, el secreto de los microcontroladores lo podemos atribuir a su tamaño, su precio y su diversidad [10][11].

El procesador es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software, el procesador se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado [10][11].

La memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip, una parte de esté debe ser no volátil de tipo ROM (*Read Only Memory*) o memoria de solo lectura, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la

aplicación, la otra parte de la memoria será de tipo RAM (*Random Access Memory*) o memoria de acceso aleatorio, se destina a guardar las variables y los datos y es de poca capacidad de almacenamiento, los microcontroladores se diferencian de los computadores personales principalmente en que no existen sistemas de almacenamiento masivo como disco duro o disquetes y en como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la memoria ROM, sólo hay que almacenar un único programa de trabajo, por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM [11][9].

Los microcontroladores son diseñados para disminuir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular, por eso el tamaño de la CPU, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación, todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema, generalmente el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo, los microcontroladores están siendo empleados en muchos sistemas presentes en nuestra vida diaria, como juguetes, hornos microondas, frigoríficos, televisores, computadoras, impresoras, módems, el sistema de arranque de los automóviles y muchas otras más aplicaciones [11][9].

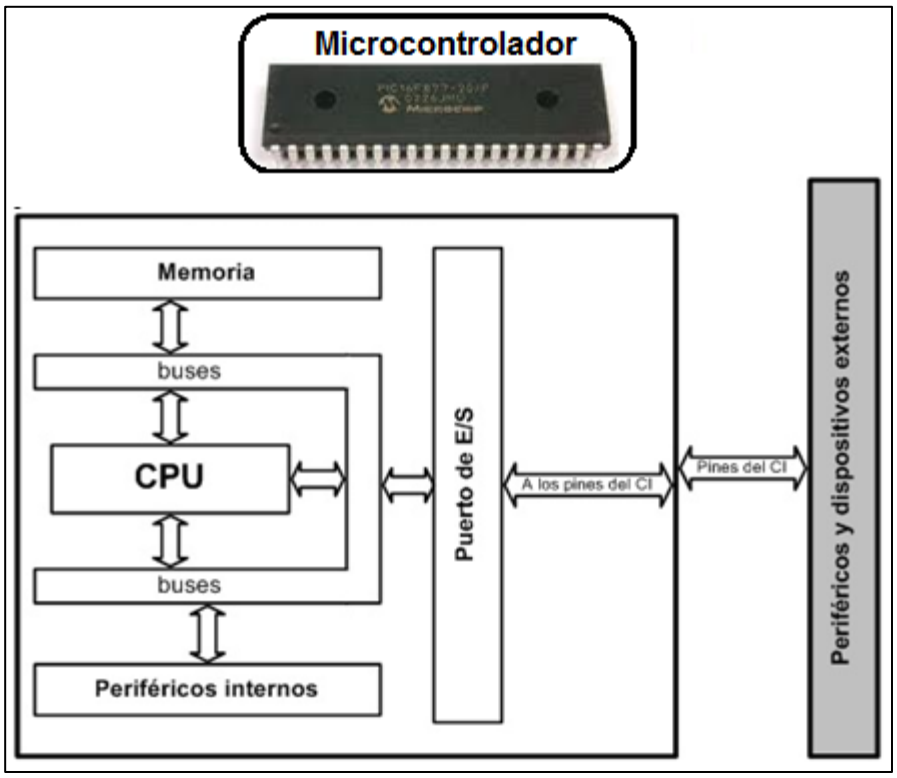


Figura 14. Aspecto físico de un microcontrolador y esquema de su estructura interna básica. Tomado de: (http://static3.wikia.nocookie.net/__cb20080626141407/electronica/images/0/0c/Esquema_basico_temporizador.png)

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto, el espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles de ondas que van desde las ondas con mayor longitud como las ondas de radio, las microondas, los infrarrojos, la luz visible, la luz ultravioleta y los rayos X, hasta los que tienen menor longitud como los rayos Gamma [12][13].

Las ondas de radio suelen ser utilizadas mediante antenas del tamaño apropiado según el principio de resonancia, se usan para la transmisión de datos, a través de la modulación variando la combinación de amplitud, frecuencia y fase de la onda dentro de una banda de frecuencia, por ejemplo la televisión, los teléfonos

móviles, las resonancias magnéticas, o las redes inalámbricas y de radio-aficionados, son algunos usos populares de las ondas de radio [12][13].

Para poder realizar la transmisión y recepción de la información por medio de la frecuencia modulada o FM es necesario que se realice el correcto intercambio de la información entre transmisor y receptor, en nuestro caso la energía electromagnética generada en el transmisor es radiada al medio de transmisión y transportada hasta el receptor sin conexión física entre éste y el transmisor [17], (ver Figura 14).

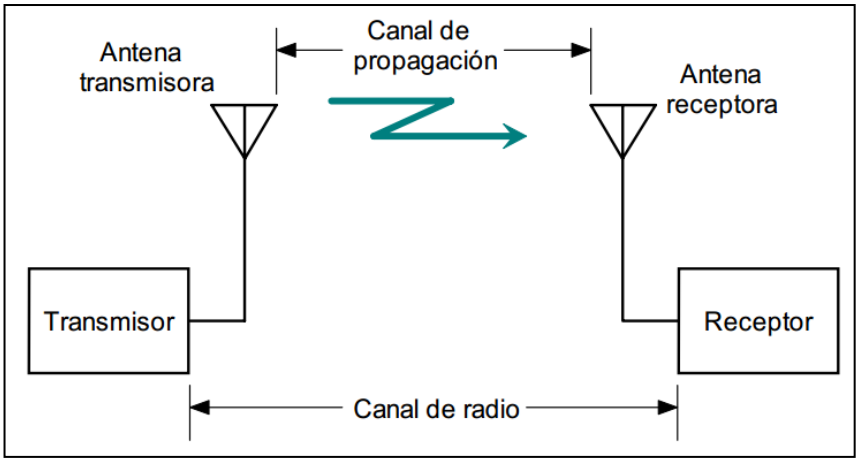


Figura 14. Esquema general de la difusión desde el transmisor hasta el receptor. (Tomado de: http://www.tsc.urjc.es/Master/RETEPAD/sites/default/files/Material_Adicional_Ficha3_2.pdf)

La función del transmisor es acondicionar las señales de información en ancho de banda y potencia para entregarlas al de medio de transporte y la función del receptor es capturar las señales en el medio de transporte, amplificarlas y acondicionarlas a fin de que resulten claros para el usuario final [17].

Para que la comunicación sin medios cableados funcione es necesario el uso del modulador o codificador que va de la mano con el transmisor y el demodulador o decodificador que va de la mano con el receptor, los cuales transforman las señales eléctricas que es la forma en la que viajan las señales de audio nuevamente en señales de audibles, (ver Figura 15).

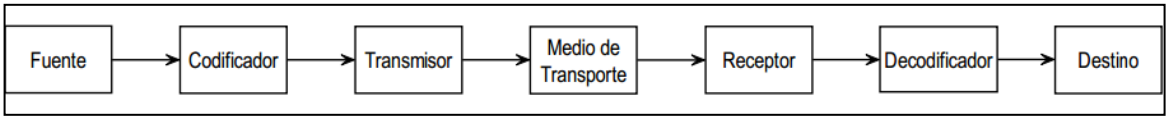


Figura 15. Diagrama de bloques del proceso de transmisión y recepción de la información.(Tomado de: http://www.tsc.urjc.es/Master/RETEPAD/sites/default/files/Material_Adicional_Ficha3_2.pdf)

Un elemento fundamental para que se comunique el transmisor con el receptor es la antena, la cual es la parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas [18]

La antena emisora es la encargada de transmitir la señal modulada y la difunde al espacio en forma de ondas electromagnéticas a través del aire [19], (ver Figura 16).

Las antenas receptoras reciben señales de muchas frecuencias por lo que su ancho de banda de recepción debe ser amplio y las señales que reciben suelen ser débiles por lo que deben ser posteriormente amplificadas [19], (ver Figura 16). una parte importante consiste en la demodulación que sucede para poder que las señales eléctricas sean reconstruidas y las podamos escuchar de forma normal.

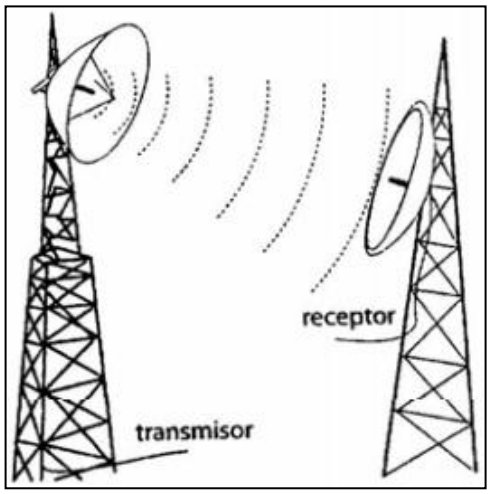


Figura 16. Proceso de comunicación entre una antena emisora y una receptora. (Tomado de: http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf)

Algunos tipos de antena más utilizados para la trasmisión y recepción de datos de FM son:

La antena lineal es generalmente conocida como un monopolo o dipolo asimétrico, este tipo de antenas radian en el plano del horizonte y se suelen utilizar para transmisiones a larga distancia como en el caso de las señales de televisión en muy altas y ultra-altas frecuencias, VHF y UHF [19], (ver Figura 17).

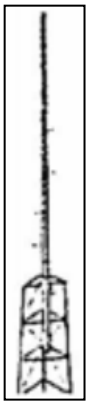


Figura 17. Antena lineal. (Tomado de: http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf)

La antena omnidireccional isotrópica tiene una ganancia de la unidad y por la posición de los conductores en la estructura capta múltiples diversas ondas [19], (ver Figura 18).

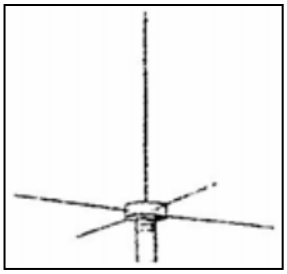


Figura 18. Antena omnidireccional isotrópica ideal para radiodifusión de AM y FM. (Tomado de: http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf)

La antena direccional de televisión tiene una ganancia superior a la unidad, consta de varios elementos adicionales en la estructura que favorecen la captación de la señal y opera en la banda UHF [19], (ver Figura 19).

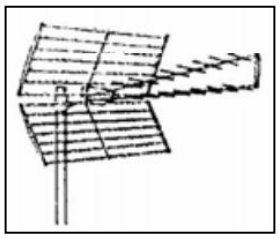


Figura 19. Antena direccional de televisión. (Tomado de: http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf)

Antena omnidireccional de televisión opera en la banda de ultra-alta frecuencia UHF, consta de dos dipolos cruzados y su función es captar la señal de televisión en vehículos en movimiento [19], (ver Figura 20).

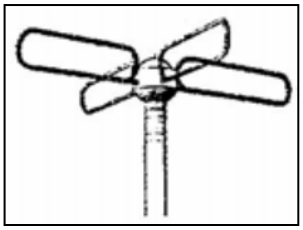


Figura 20. Antena omnidireccional de TV. (Tomado de: http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf)

6. ESTADO DEL ARTE

Los llamados de enfermería son utilizados en clínicas y hospitales, que tengan pacientes en salas de observación, las entidades que regulan y vigilan el buen funcionamiento de las empresas prestadoras de servicios de salud les exigen tener un sistema de llamado de paciente al puesto de enfermería, con alarmas sonoras y luminosas.

En la actualidad las exigencias se incrementan para los sistemas de llamados de enfermería teniendo como principal objetivo la seguridad del paciente y controlar al personal médico, midiendo el tiempo de respuesta en atención al paciente desde el momento que se realizó el llamado, otra implementación es que debe tener terminales de llamado en el baño y diferenciar si es un llamado de emergencia o normal.

Llamados de enfermería antiguos.

Los primeros sistemas de llamados de pacientes funcionaban como timbres alámbricos, generalmente no tenían comunicación de audio y los que utilizaban comunicación de audio no eran bidireccionales, adicionalmente no tenían forma de diferenciar si era llamado de emergencia o normal, el funcionamiento se describe a continuación:

El usuario presiona un pulsador o suiche el cual activa el sistema y genera una alarma sonora en el puesto de enfermería al igual que una señal luminosa que indica el número de habitación. Para contestar al llamado se debe sostener un pulsador y hablar, y soltarlo cuando se quiere escuchar a la otra persona para dar por terminada la comunicación se deshabilita el suiche correspondiente a la habitación que realizó el llamado.

Algunos desarrollos actuales a nivel nacional que cumplen con las mínimas exigencias no tienen implementaciones relevantes en comparacion con los más antiguos, (ver figura 21), las principales diferencias son la utilización de led, cable

UTP y alarmas con osciladores NE555 a diferencia de los primeros que eran con timbres electromecánicos, filamentos y cableado duplex.

Figura 21. Prototipo de una consola actual, con las funciones básicas de un llamado a enfermería (Tomado de:http://www.inelsoft.net/alarma_para_enfermeria_en_clinicas.html)

Llamado de enfermería alámbricos e inalámbricos actuales

Actualmente la mayoría de los sistemas de llamado de enfermería funcionan de forma alámbrica y algunos de forma inalámbrica, y cumplen con las normas establecidas por las entidades reguladoras de los servicios de hospitalización, el equipo diseñado para este proyecto (*NURSE CALL)* hace parte de los requerimientos de seguridad del paciente [14][15][16].

Sistemas alámbricos: Los sistemas actuales cableados tienen un concentrador donde llegan todos los cables de cada una de las habitaciones, normalmente utilizan líneas comunes de fuentes y masas para las señales de audio y control.

Los circuitos electrónicos de las habitaciones utilizan dos pulsadores que marcan los eventos y se diferencia la clase de código o llamado que se está realizando, código Amarillo cuando se tiene un llamado normal o código Azul cuando es un

llamado de emergencia, al tiempo se utiliza un enclavamiento electrónico que marca el evento realizado por el usuario, se activan unas alarmas en el puesto de enfermería sonoras y luminosas al igual en la parte externa de la habitación y dependiendo de la clase de código se podrá deshabilitar del puesto de enfermería o el personal se debe desplazar hasta la cama del paciente para deshabilitar el llamado, el evento también determina los destellos y la intensidad de la alarma, algunas marcas utilizan distintivos de colores en las señales luminosas para diferenciar el tipo de llamado realizado por el usuario. Estos sistemas no tienen una comunicación de audio bidireccional, cuando el paciente realiza un llamado normal se puede atender desde la consola de control del puesto de enfermería y hablar con el paciente pero en un solo sentido, se debe presionar un pulsador durante el tiempo que se esté hablando y soltarlo para escuchar.

Algunas empresas realizan implementaciones de control a estos llamados para hacerlos más eficientes y realizar una mejor monitorización de los pacientes y el personal médico, la más común es tomar señales adicionales de cada módulo de habitación y llevarlas a una tarjeta de adquisición de datos, se puede realizar por multiplexación, de forma matricial y con microcontroladores, con estos realizamos adquisición y transferencia de datos a una computadora, donde un software realiza el debido procesamiento de esta información y toma datos de tiempo de llamado y tiempo de respuesta de las enfermeras, les crean alias con las historias clínicas para el suministro de medicamentos y exámenes pendientes, entre otras funciones que requiera la institución.

Un sistema de llamado actual tiene cableado con pantalla LCD en la consola de control, indicadores luminosos rotulados y módulo de habitación con dos entradas una para código amarillo y la otra para el código azul, y una pera o pulsador aéreo de eventos. Un esquema básico de instalación de una habitación con dos terminales de llamado a modo general más no específico, puede verse en la figura 22.

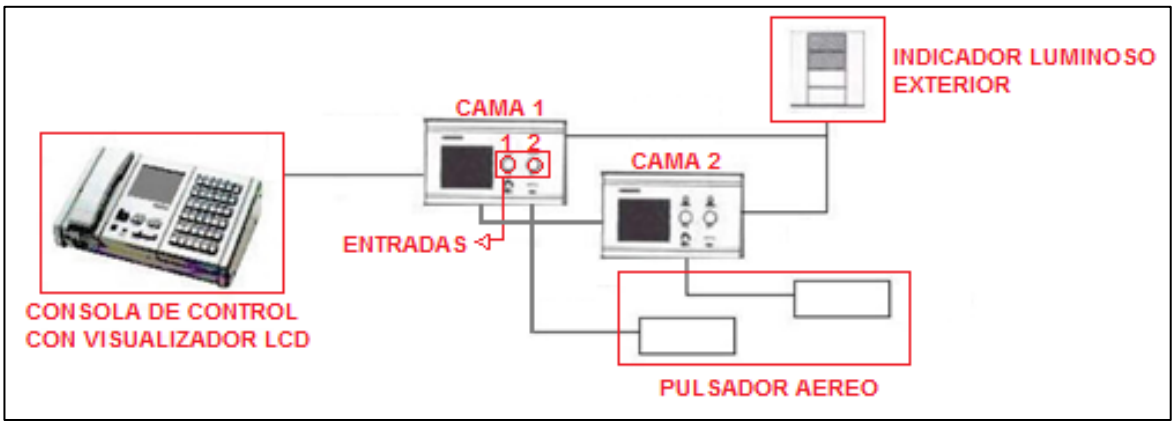


Figura 22. Sistema de llamado de enfermería cableado con visualizador LCD e indicadores luminosos. Tomado de: (http://technoimport.com.co/llamado_enfermera.htm)

Sistemas inalámbricos: En la actualidad existe variedad de comunicaciones inalámbricas que tienen aplicaciones muy eficientes según la necesidad, para el caso específico de llamados de enfermería con comunicación de audio bidireccional y transferencia de datos y que estén implementados en el mercado internacional y local se realiza la descripción de los más utilizados:

- Sistema de llamado de enfermería inalámbrico utilizando las comunicaciones F.M. (Frecuencia Modulada) y transmisión de datos DTMF (Tono Dual – Multi Frecuencia), este sistema cumple los requerimientos de las entidades que supervisan la seguridad del paciente, son versátiles para su instalación y remodelación.

  En la transferencia y recepción de datos el sistema utiliza la combinación matricial de frecuencia DTMF, para identificar los códigos de llamado y el número de cama correspondiente a cada módulo, internamente en la habitación los circuitos de lámpara exterior y pulsador o suiche de baño son cableados.

  Todos los módulos están sintonizados a una misma frecuencia, el módulo de control del puesto de enfermería realiza un escaneo constante de todos los códigos programados correspondientes a cada cama de paciente. Cada

módulo de habitación contiene microcontroladores, módulo *transceiver* de FM y amplificadores de audio entre otros componentes electrónicos de periferia para su correcto funcionamiento.

Adicionalmente este sistema cuenta con una pantalla de mensajes en el puesto de enfermería y algunas otras funciones de control de datos similar al sistema anterior que le incorporan una tarjeta de adquisición de datos y un software. Este equipo fue repotenciado utilizando los elementos del llamado antiguo por el personal de mantenimiento de la clínica las américas implementando los módulos de transmisión y recepción suministrado por la empresa (wi-calling) e instalado en la Clínica Las Américas en la ciudad de Medellín.

Figura 23. Terminal de habitación que marca el evento de llamado normal, en esta aplicación se utilizaron los componentes y el cableado interno ya existentes del llamado que se repotencio en la clínica. (Fuente: Elaboración propia)

Figura 24. Este equipo es el que recibe la señal de los módulos de las habitaciones y se comunica por puerto USB con el computador donde se le realiza su respectivo tratamiento a los datos emitidos por los módulos de habitación, el software es el encargado de controlar la información que se visualiza en la pantalla. (Fuente: Elaboración propia)

Figura 25. Pantalla de donde se visualiza el número de la habitación que está generando el llamado al puesto de enfermería y donde también se puede saber qué tipo de llamado se está realizando, la diferencia se percibe con la intensidad de la alarma intermitente tanto visual como auditivamente. (Fuente: Elaboración propia)

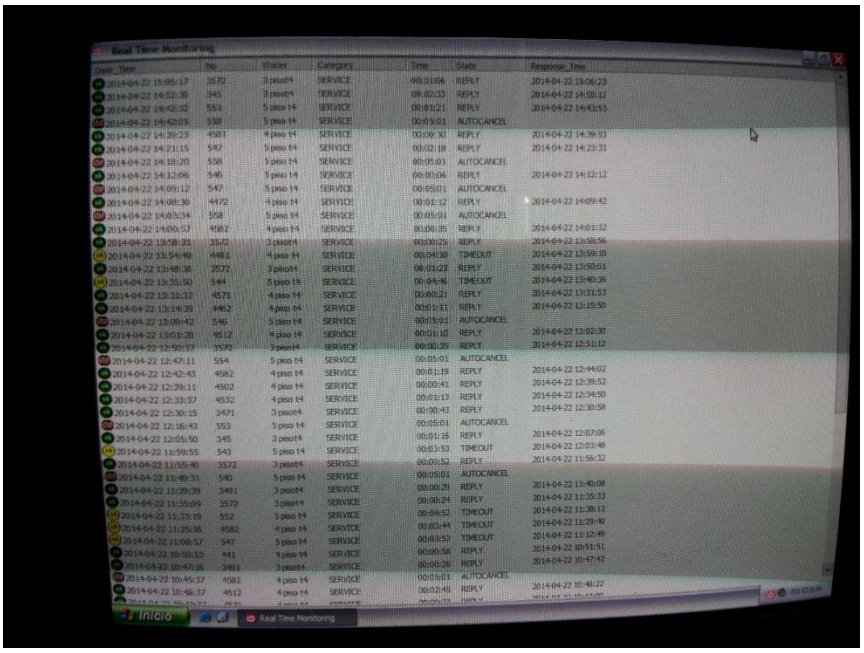


Figura 26. Captura de pantalla del software que registra los diferentes eventos que se generan en los módulos de habitación en el cual queda grabado el tipo de llamado realizado, fecha y hora del llamado y de atención del personal médico. (Fuente: Elaboración propia)

- Sistema de llamado de enfermería inalámbrico utilizando las comunicaciones RF y software QUADRANT este permite las comunicaciones entre los distintos dispositivos a través de señales de radio frecuencia (RF). Cabe destacar como característica principal de QUADRANT que es uno de los principales en la arquitectura de software para los teléfonos móviles.

  Estos sistemas tienen muchas ventajas de funcionamiento comparado con los anteriores llamados de enfermería, principalmente porque maneja protocolos de enrutamiento y direccionamiento estandarizado, que le permiten ser escalable en cantidad de módulos de pacientes, teléfonos para las enfermeras encargadas de cierta cantidad de usuarios, y el software que pude tener diversas aplicaciones según las necesidades de los pacientes y requerimientos de la institución, totalmente integrable con las base de datos de la clínica para utilizar su información y complementar la base de datos

de las historias clínicas de los pacientes, registrando los eventos y respuesta de los mismos, suministro de medicamentos entre otras funciones que pueden ser incorporadas en el software.

Estos sistemas cumple con las funciones básicas de un llamado a enfermeras y aportando mayor calidad en la comunicación de audio bidireccional, mayor estabilidad y confiabilidad en la marcación de eventos, aporta mecanismos que facilitan la calidad en la atención de los usuarios, implementando alarmas en los teléfonos de las enfermeras de pacientes que requieran cuidados especiales y notificación de eventos fitosanitarios.

NEVATEC/SIENALITE:

Figura 27. Sistema de llamado a enfermería del fabricante Nevatec/Sienalite. (Tomado de: http://www.nevatec.es/products/sienalite)

- Sistema de llamado a enfermería inalámbrico utilizando las comunicaciones WI-FI, es el primero en aportar los beneficios de la tecnología del direccionamiento IP al sector de las comunicaciones hospitalarias. Se ha diseñado para ofrecer un dispositivo compacto e integrable con otros equipos de mayor jerarquía en el mundo de las redes de datos.

Además de cubrir todas las necesidades de un sistema de llamadas a enfermera, integra la tecnología VoIP nativa basada en el protocolo SIP (Protocolo de Inicio de Sesiones) y es compatible con cualquier sistema de telefonía IP estándar. Su funcionamiento va más allá de la simple comunicación paciente enfermera para ofrecer un nuevo horizonte en la calidad de la atención hospitalaria gracias a la gestión automatizada de los cuidados y las acciones sanitarias. Permite una respuesta eficiente del equipo médico y de enfermería a las llamadas de emergencia y normal.

NURSE CALL SYSTEMS WEST-CALL:

Figura 28. Sistema de llamado a enfermería West-Call. (Tomado de: http://chickasawtel.com/products/healthcare)

LCDT / LA CASA DEL TELEFONO:

Figura 29. Sistema de llamado a enfermería inalámbrico con tecnología VoIP. (Tomado de: http://www.lcdtcorp.com/index.php/receptor-inalambrico-para-hasta-40- transmisores-y-40a-y-40c.html)

El futuro de estos sistemas es interconectarlos a las redes de datos de la institución, y que los familiares del paciente puedan obtener información y verlos en tiempo real, e implementarles otras funciones de monitorización de tipo sanitarias, ambientales, ubicación exacta del paciente, monitorización de signos vitales integrando dispositivos que admitan estos protocolos, eventos del paciente que generan llamados de emergencia si hay alteraciones fuera del rango programado, aportar entretenimiento entre tantas funciones que pueden ser implementadas en el área de las comunicaciones.

Los siguientes ítems mencionan las funciones que debe cumplir un sistema de llamado de enfermería.

- Consola de control ubicada en el puesto de enfermería principal que tiene comunicación con todos los pacientes hospitalizados, alarma sonora y luminosa que identifican que paciente está llamado, identifica si el tipo de llamado es normal o de emergencia.

- Módulo de paciente ubicado lo más cerca posible del usuario hospitalizado que tiene comunicación con el equipo médico y de enfermería, además tiene llamado normal que se realiza con un pulsador aéreo, activa una alarma sonora y luminosa en el puesto de enfermería y otra luminosa en el módulo de paciente y en la parte exterior de la habitación. El otro llamado es de emergencia que se activa presionando un pulsador ubicado en el panel frontal del módulo de habitación y otro ubicado en el baño, este llamado genera una alarma luminosa y sonora intermitente en el puesto de enfermería y en la parte exterior e interior de la habitación, se desactiva únicamente del módulo de habitación.

En la literatura, se pudo apreciar la falta de artículos que brinden información relacionada con el uso de la tecnología inalámbrica en relación con el cuidado de los pacientes en los hospitales, donde se le ha dado mucha importancia últimamente a la seguridad del paciente con el uso de las tecnologías de vanguardia para una pronta y efectiva atención, en el cual se evidencia que la comunicación es una herramienta fundamental para cumplir con la premisa de la prestación de un buen servicio.

A continuación se van a mencionar algunos de los estudios o investigaciones que se han realizado a nivel nacional e internacional con relación a los llamados a enfermería que funcionan de forma inalámbrica.

Sistema de telefonía inalámbrico y el impacto en la puntuación de satisfacción del paciente: Un estudio piloto.

En el 2010 en el Hospital de Niños de Pittsburgh se realizó una revisión de la efectividad de la pronta respuesta de las enfermeras a las llamadas de los pacientes. Como una iniciativa para mejorar el proceso se implementó un sistema de telefonía inalámbrico en la unidad hospitalaria para mejorar las comunicaciones

entre los cuidadores. Este ensayo se realizó por 6 semanas, donde a cada enfermera al inicio de su turno se le asignó un teléfono inalámbrico. Con este nuevo sistema de llamado inalámbrico, los llamados de los pacientes llegaban a la estación de enfermería y el coordinador del hospital llamaba más rápidamente a las enfermeras disponibles para que atendieran la solicitud del paciente. Después de la prueba de 6 semanas, los datos de este estudio piloto revelaron un aumento significativo en la atención a la solicitud de los pacientes de aproximadamente entre el 50% y el 66.7% más eficaz, se indagó entre los pacientes y sus familiares y todos estuvieron de acuerdo con que el sistema de telefonía inalámbrico facilitó la pronta atención a su solicitud de atención [20].

Un llamado de enfermería de auto aprendizaje

La aplicación *eHealth* está basada en la filosofía del sistema de llamado a enfermería, que evalúa la prioridad de una llamada en función del contexto actual y asigna el personal más indicado para que brinde la atención más apropiada a cada llamada. La *eHealth* está ayudando a mejorar la tecnología de la salud, en favor de perfeccionar las herramientas de las personas que intervienen en el proceso para mejorar la calidad de la atención a los pacientes en los distintos hospitales [21].

La principal funcionalidad de los sistemas de llamado a enfermería es proporcionar un apoyo eficiente al paciente cuando se solicita a la enfermera y emplear un algoritmo de llamada de enfermería sofisticado que lleva a los equipos de comunicación de los miembros del personal la información del perfil del paciente. Los pacientes pueden lanzar tres tipos de llamadas, es decir, las llamadas de servicio para las solicitudes de "cuidar", llamadas sanitarias procedentes de los espacios de aseo y llamadas normales para las solicitudes médicas [21].

La extensión de auto-aprendizaje consiste en los siguientes pasos: En primer lugar, los algoritmos de seguimiento se utilizan para controlar cómo se manipula la aplicación con una determinada situación. Estos algoritmos se reúnen, almacenan datos y cuando se han recogido suficientes datos de la colección de componentes y de entrada de datos, el convertidor recupera los datos y los transforma al formato de datos interno utilizado por los componentes de auto aprendizaje. En segundo lugar, el Pre-procesador limpia los datos y un post-procesador es utilizado para descubrir los nuevos valores de los parámetros para almacenarlos y utilizarlos posteriormente. Por último, el componente de integración unifica los nuevos valores de los parámetros y su fiabilidad asociada en los sistemas de llamado de enfermería [21].

7. RESULTADOS

A continuación se pueden observar los diferentes esquemas de los circuitos realizados con el software *EAGLE* implementados en el desarrollo de las diversas etapas del proyecto, donde cada una de las figuras tiene su explicación de la manera como fue utilizada en el proyecto y de los componentes utilizados en dicho circuito para su óptimo funcionamiento.

También se muestran los circuitos implementados tanto en la vista en 3D realizada con el software *POV-Ray* como en los impresos donde se les realizaron todas las pruebas de uso correspondientes para ver su comportamiento.

Decodificador de tonos DTMF: A este circuito integrado (IC) le ingresa una señal con una frecuencia determinada, la cual es generada por un circuito generador de tonos DTMF utilizando un cruce de frecuencias, esta combinación de frecuencias da como resultado una nueva frecuencia que es identificada por el decodificador y este genera una variación de voltaje de 0 a 5 Voltios (V) en los pines de salidad D0 a D3, estos utilizan una decodificacion hexadecimal para identificar los números del 0 al 15 teniendo en cuenta que los valores numéricos del 10 al 15 son reemplazados por los caracteres A, B, C, D, E y F respectivamente.

Al circuito integrado se le pueden realizar ajustes con los componentes externos que recomienda el fabricante, estas variaciones le dan mayor o menor ganancia a los amplificadores operacionales que utiliza, de esta forma se puede obtener una mejor respuesta en la recepcion de la señal de entrada. La fuente de polarización que se utilizó para este circuito fue de 5.0 V con un consumo de corriente (I) en operación de 6.4 mili Amperios (mA) utilizando los componentes externos con sus respectivos valores recomendados por el fabricante este circuito funcionó correctamente para la aplicación requerida.

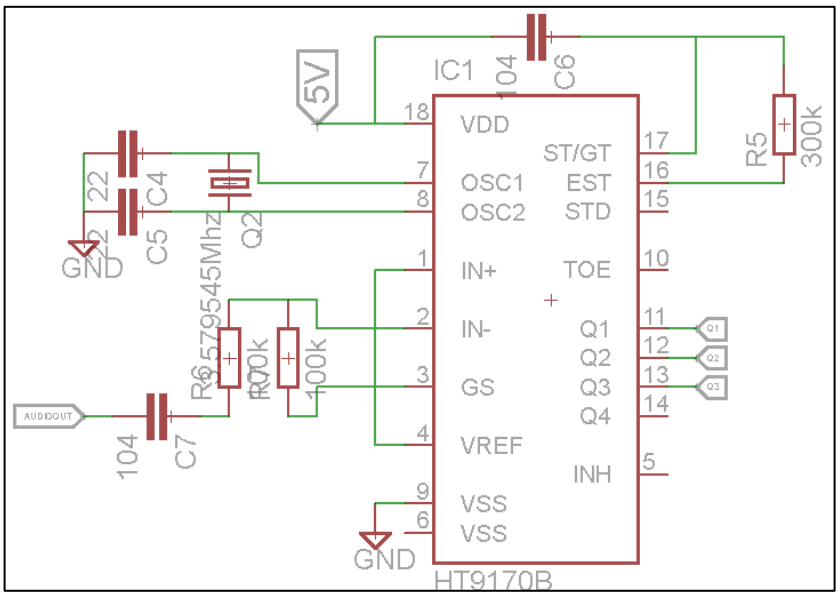


Figura 30. Esquema del circuito decodificador DTMF utilizando un integrado HT9170B y sus respectivos componentes periféricos para su óptimo funcionamiento [22] (Elaboración propia).

Circuito amplificador del micrófono: Se realizaron diferentes montajes en esta etapa del circuito, debido a que el circuito amplificador de micrófono que se instala en las habitaciones del paciente requiere tener muy buen alcance, pues se debe escuchar al paciente con total claridad sin que tenga que realizar mucho esfuerzo para que lo escuchen, a diferencia, la consola de control ubicada en el puesto de enfermería tiene bocina y no requiere de un circuito de amplificación de micrófono con mucha ganancia.

El circuito integrado LM358N se utilizó para ambas etapas de amplificación de micrófono, este amplificador operacional (AmpOp) internamente maneja dos operacionales, un rango de voltaje de 0.3v a 32v y frecuencia entre 1KHz y 20 KHz (Kilo Hertz) nos respondió muy bien con relación al ruido y a los niveles de ganancia requeridos.

En los ensayos realizados el circuito amplificador de habitación presentó mejor sensibilidad y menos interferencia con una fuente de polarización a 5.0 V, y la implementación de un capacitor en serie con la salida de la señal de audio, en

este circuito se utilizaron los dos operacionales debido a que se requería con mayor amplificación y en ambos circuitos se utilizaron micrófonos tipo ELECTRET que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de fluor) y una lámina de plástico que al estar polarizada y percibir pequeñas variaciones en su diafragma hay una conversión de esta fuerza mecánica en variaciones de voltaje, de esta forma obtenemos la conversión de un sonido en señales eléctricas.

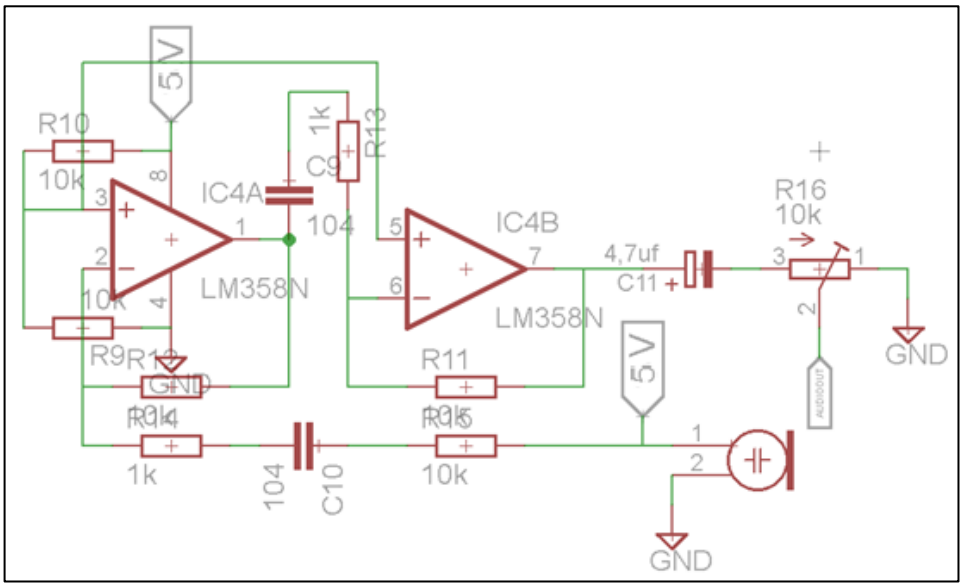


Figura 31. Esquema del circuito de amplificación de la señal del micrófono utilizando los dos amplificadores operacionales que trae el integrado LM358 (Elaboración propia).

Módulos de transmisión y recepción de FM: Los circuitos utilizados para realizar la comunicación inalámbrica por frecuencia modulada (FM) son unos módulos tipo híbridos de la marca *ABACOM Technologies* estos circuitos requieren componentes periféricos que le proporcionan unos niveles de voltaje ajustables como referencias, algunos pines son de control, polarización, acondicionamiento de señal de audio y conexión de antena.

Estos módulos funcionan por separado, no son bidireccionales y están sintonizados a la misma frecuencia, esto significa que ellos se escuchan entre sí,

hay que estarlos prendiendo y apagando para que no se anulen, e identifiquen el maestro. Si estos módulos se dejan prendidos y se apaga el audio no funcionan, se identificó que cuando están polarizados en el mismo circuito impreso se anula y no responden a otros módulos externos, esta es la principal razón por la cual el proyecto no funcionó de la forma como fue planteado en tener una comunicación de audio fluida, y no utilizar pulsadores externos para habilitar o deshabilitar la comunicación entre el paciente y el personal del puesto de enfermeras, para tratar de solucionar esta limitación se implementó un circuito *samplehold* o de retención de señal (ver figura 32), que identificará cuando la persona habla para habilitar transmisión y cuando hay silencio se enciende la recepción, esto con relación a una conversación, esta se convierte en una señal de control de apagado y encendido de los módulos FM y circuitos de amplificación de micrófono y parlantes esto se realiza a través del microcontrolador.

Esta implementación no funcionó debido a que se requerían espacios en los cuales no hubiera otras interferencias auditivas, porque el sistema no identifica sonido únicamente cuando está hablando el personal que sostiene la comunicación, de lo contrario los sonidos externos hacen que el sistema se quede prendiendo y apagando los circuitos en ciclo cerrado y no reconoce otras funciones.

Las pruebas de funcionamiento realizadas a los módulos de FM utilizando un interruptor mecánico para realizar el cambio de recepción a transmisión fueron exitosas. Cuando los módulos están ubicados en un plano horizontal y tienen una adecuada línea de vista registraron un alcance aproximado de 55 metros utilizando una pila recargable de 8.6 V a 2200 miliamperios y un consumo de 130 miliamperios, la antena es helicoidal con un diámetro de 1.5cm y está hecha de 26 vueltas con un alambre de 0.55mm de grosor. También se pudo identificar una buena transmisión, teniendo en el medio paredes como obstáculo, de hasta tres salones de separación entre los módulos y cada salón de 4 a 5 metros de ancho, en el caso contrario, cuando no hay sintonización entre las antenas se pierde el

enganche entre los módulos y no hay comunicación, como cuando se realizó la prueba con un módulo ubicado un piso más arriba que el otro.

El montaje que corresponde al circuito de la consola de control de TX y RX ubicada en el puesto de enfermería es el mismo montaje utilizado para las habitaciones (ver figura 30).

Módulo de transmisión: El pin 2 se utiliza para encender el TX y los pines 6 y 7 son utilizado como preénfasis para realizar el acondicionamiento de la señal y los demás pines del modulo tiene propósitos específicos, es importante destacar que la antena puede ser utilizada por los módulos de TX y RX conmutándola con un relé (ver figura 30).

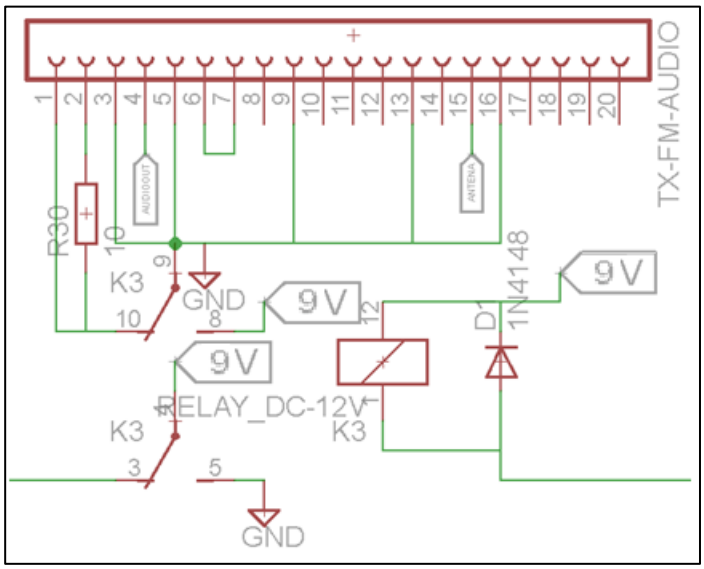


Figura 32. Esquema de la conexión de los pines del módulo de transmisión para su correcta polarización (Elaboración propia).

Módulo de recepción: Este hibrido utiliza los pines 1 y 16 para las señales de referencia y los demás pines son utilizados con fines específicos para el correcto

funcionamiento del receptor, de igual forma se destaca que la antena es compartida para los módulos de TX y RX con un relé que realiza la conmutación.

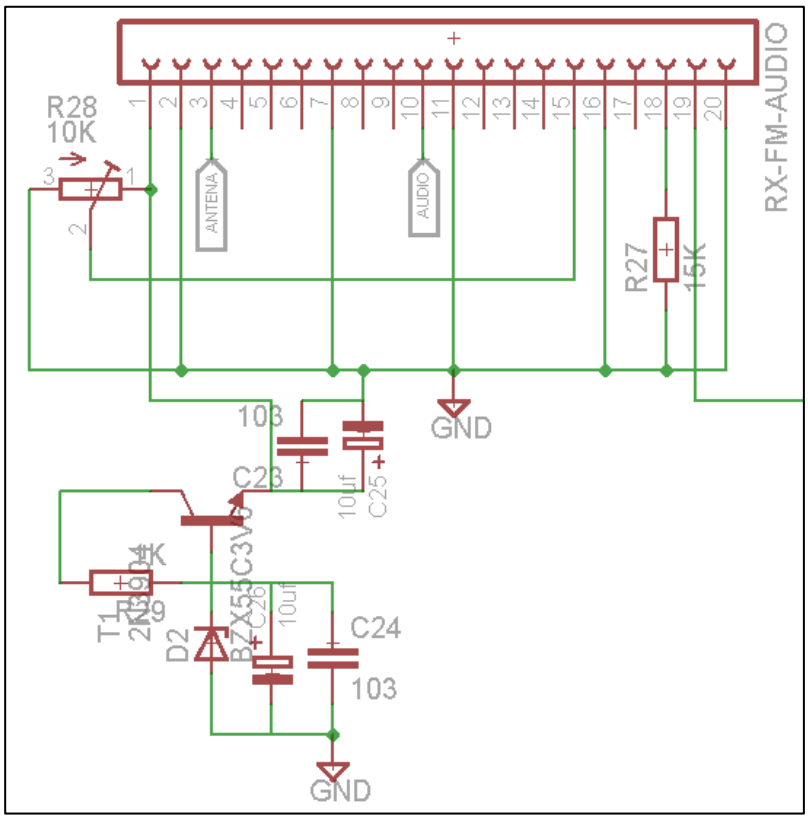


Figura 33. Esquema de la conexión de los pines del módulo de recepción y el circuito de las referencias de voltaje que aumentar los niveles de recepción, para su correcto funcionamiento (Elaboración propia).

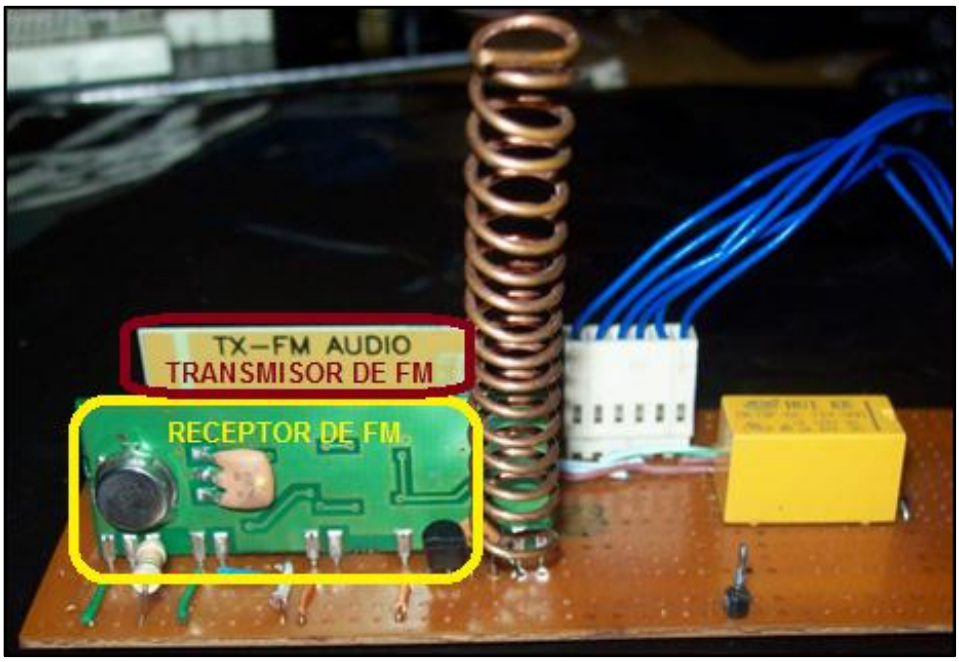


Figura 34. Montaje del circuito de TX y RX, a través del conector blanco se polariza, entrada y salida de audio, tonos DTMF y señal de control para encender y apagar los módulos más conmutando de la antena (Elaboración propia).

Circuito amplificador del parlante: Esta etapa fue utilizada en el circuito de la consola de control del puesto de enfermería y los módulos de habitación sin variaciones relevantes al propuesto por el fabricante [23].

Para obtener mayor ganancia de amplificación de la señal se realizan variaciones de capacitancia entre los pines 1 y 8, para tener en cuenta la impedancia del parlante y los vatios que recomienda el fabricante, cuando se realizan variaciones de amplificación se debe tener presente la potencia que soporta la fuente de alimentación, si la fuente no soporta el consumo de corriente del amplificador no daría ningún resultado o podría descargar las baterías en muy poco tiempo dependiendo el tipo de alimentación.

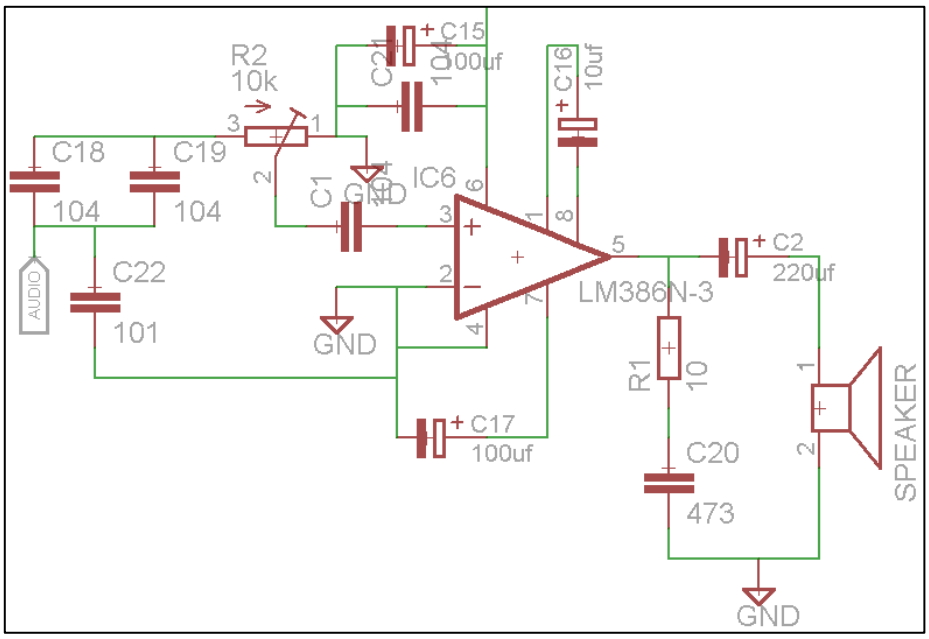


Figura 35. Esquema de la conexion del circuito del amplificador de audio utilizando un integrado LM386 y un parlante de 8 ohmios a un 1 vatio (Elaboración propia).

Microcontrolador: Es un circuito integrado programable capaz de ejecutar las ordenes programadas en su memoria, para realizar esta programación existen varios programas, en este caso se utilizó el programa *MicroCode Studio* para la elaboración del programa.

En este proyecto el microcontrolador era el encargado de generar los tonos DTMF, esto fue posible por que el microcontrolador PIC16f886 tiene la librería necesaria para producir estos tonos con unas instrucciones predeterminadas. Después de haber realizado varias pruebas, fue necesario utilizar un cristal de 10 MHz, también fue programado para desempeñar las funciones de lectura de pines del teclado, lectura de pines para la decodificación de los datos que le entregaba el decodificador de tonos DTMF HT9170B, control del LCD, identificar los pines de entrada para marcar las diferentes funciones del sistema de llamado de enfermería, señales de control para encender y apagar los módulos de TX y RX y encender el indicador luminoso exterior y el de la consola.

El programa puede identificar cual habitación está realizando el llamado y si es código amarillo o código azul de igual forma se pueden realizar llamadas a las habitaciones y entre otras programaciones que se realizaron para que el sistema funcione correctamente.

Figura 36. Esquema de las Conexiones de los pines del Microcontrolador 16F886 (Elaboración propia).

Samplehold o circuito de muestreo y retención: Es un dispositivo que se activa con una señal análoga durante un intervalo de tiempo y luego mantiene constante el valor de esta señal que tomó como muestra por el tiempo que sea necesario, este tipo de circuitos son muy utilizados a la hora de realizar una conversión análoga-digital realizando una comparación de valores de voltaje en un rango predeterminad. Este dispositivo fue diseñado con el fin de realizar la detección del voltaje en la etapa de salida del audio debido a que los módulos de transmisión y recepción no se pueden mantener encendidos al mismo tiempo, entonces cuando este dejara de percibir voltaje en la salida del amplificador de audio el dispositivo entraría en acción y estaría intercambiando la alimentación de los módulos de transmisión y de recepción para evitar que estén encendidos al mismo tiempo.

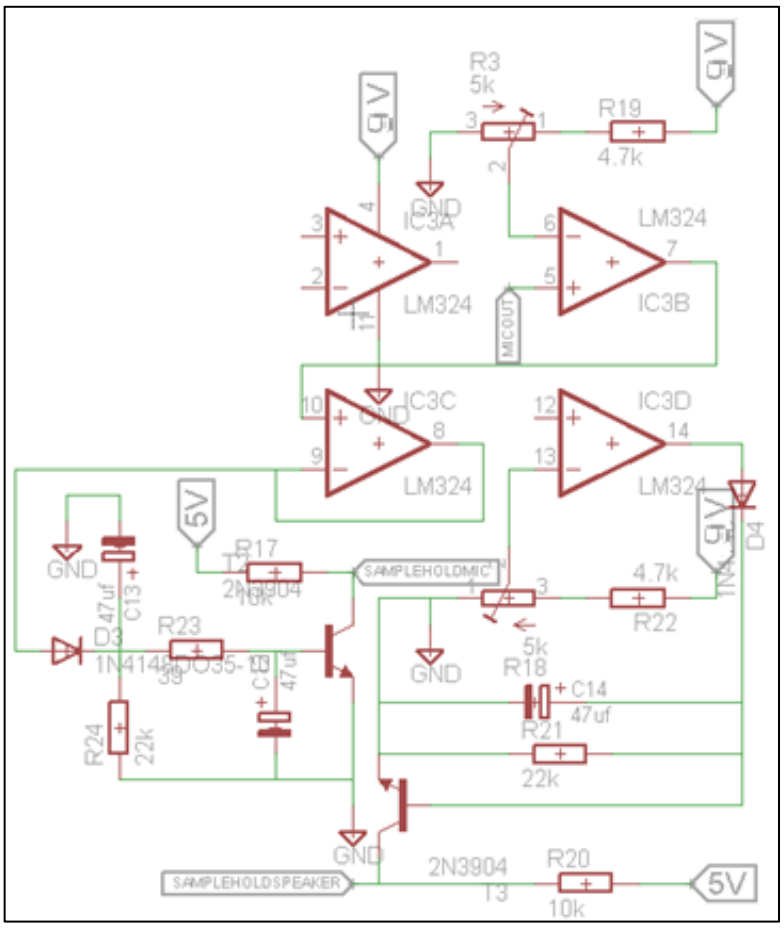


Figura 37. Esquema del circuito de los Samplehold utilizando los amplificadores operacionales de un integrado LM324 (Elaboración propia).

LCD: Es una pantalla de cristal líquido que está compuesta de pixeles monocromáticos o en color colocados delante de una fuente de luz reflectora que es la que nos permite ver la información que está siendo emitida por los electrones sobre el cristal líquido, para poder visualizar la información que procesa el microcontrolador en el LCD es necesario configurar los pines del bus de datos dependiendo de la cantidad de bits (4 – 8 bits) a utilizar, el pin *enable* que habilita el LCD, el pin R/W es el pin de escritura al LCD, el número de líneas que se van a utilizar del LCD y el puerto del microcontrolador por cual se van sacar los datos hacia el LCD.

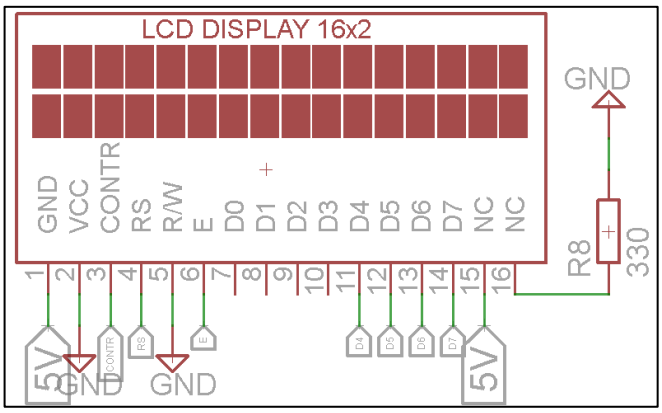


Figura 38. Esquema de la conexión de los pines del LCD 16x2 utilizado para la visualización de los datos (Elaboración propia).

Teclado matricial: En un teclado matricial al presionar alguna de las teclas se genera un cruce entre una fila y una columna, esta es la forma como estan enlazados internamente los teclados, cada uno de estos cruces o uniones corresponde a un número, esta información la lee el microcontrolador, en donde hay un algoritmo grabado y dispuesto para tomar la información correspondiente a cual fila y a cual columna es la que esta mandando datos de ceros o unos a los pines de lectura del microcontrolador para este poder identificarlos y poder mostrarnos por medio del LCD a que número corresponde la tecla que se esta presionando. El teclado matrical operó correctamente en la aplicación que se estaba desarrollando después de depurar bien el código con el que se puso en funcionamiento.

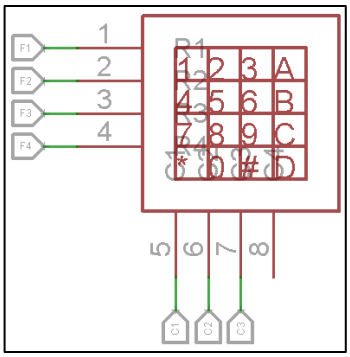


Figura 39. Esquema de conexión de los pines del teclado matricial de 4 filas por 4 columnas (Elaboración propia).

Tarjeta de control circuito de habitación: Realiza las diferentes funciones de control y sensado de señales que activan el sistema, a través del conector se ingresa polarización de 5.0 V, señales de entrada de los pulsadores que registran llamado normal o de emergencia, señales de salida o entrada del DTMF y activación de alarmas luminosas y sonoras.

Se utilizó el circuito integrado ULN 2804 para aislar las señales de entrada y salida del microcontrolador, adicionalmente se aprovechan los beneficios de ganancia en corriente para activar el relé y los transistores que el microcontrolador no alcanza a excitar directamente.

El microcontrolador realiza lectura de los pines del decodificador DTMF y genera los tonos para ser trasmitidos y ejecuta el programa para comunicarse con la consola de control o para recibir un llamado del puesto de enfermería.

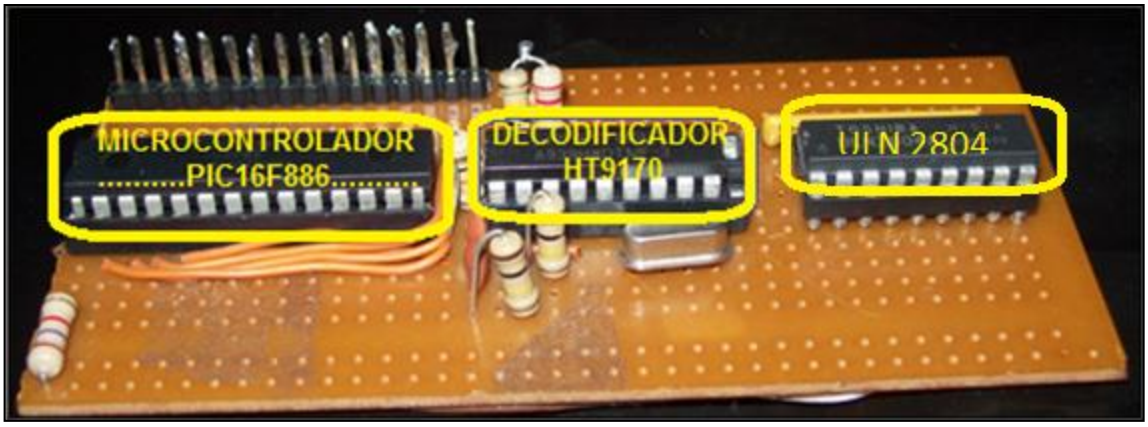


Figura 40. Montaje del circuito de control del módulo de la habitación (Elaboración propia).

A continuación veremos el montaje completo del circuito del módulo de la habitación incluyendo los conectores para los módulos de TX y RX, las etapas de control, de amplificación de micrófonos, parlante, Samplehold, decodificación DTMF y fuente (ver figura 37).

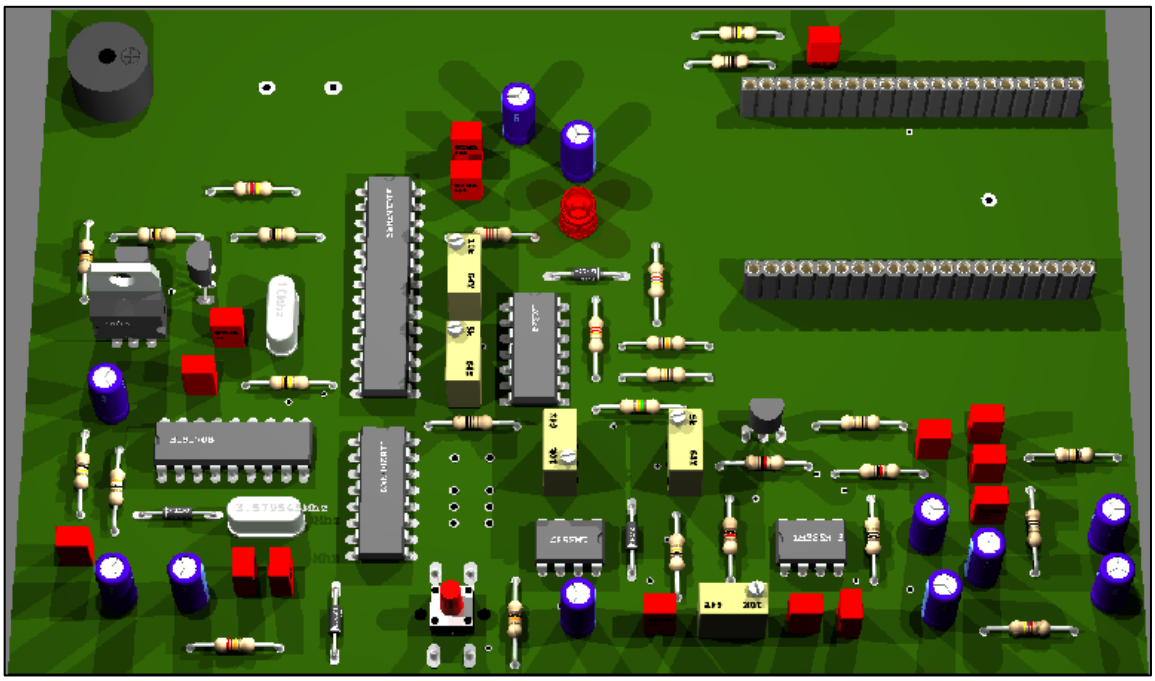


Figura 41. Proyección del circuito del módulo de la habitación en 3D (Elaboración propia).

Circuito de control del puesto de enfermería: Realiza las diferentes funciones de control, interfaz entre el equipo y el personal de enfermería y sensado de interruptor de bocina que habilita el teclado matricial para marcar a cualquier habitación. El programa contiene diferentes sub-rutinas que hacen que el equipo sea de fácil manejo por los operarios y garantice la marcación de los eventos cuando llaman de las habitaciones.

A través del conector se ingresa la polarización de 5.0 V, señales de entrada del teclado matricial, datos y control del LCD, señales de salida y entrada del DTMF, activación de alarmas luminosas y control del circuito de TX y RX. El microcontrolador realiza la lectura de los pines del decodificador DTMF y genera los tonos para ser trasmitidos y ejecuta el programa para comunicarse con el circuito de habitación y realizar la identificación de las habitaciones que realicen llamados de emergencia o normal.

Se utilizó el IC ULN 2804 para aislar las señales de entrada y salida del microcontrolador, adicionalmente se aprovechan los beneficios de ganancia en corriente para activar relay y transistores que el microcontrolador no logra activar directamente. La consola del puesto de enfermería tiene bocina y a través de la pantalla LCD se identifica de qué habitación se está realizando el llamado.

Figura 42. Montaje del circuito de control del módulo del puesto de enfermería (Elaboración propia).

Figura 43. Circuito de control del puesto de enfermería en funcionamiento(Elaboración propia).

A continuación veremos el montaje completo del circuito de la consola de control, incluyendo los conectores para los módulos de TX y RX, teclado matricial, LCD, las etapas de control, amplificación de micrófonos y parlante, Samplehold, decodificación DTMF y fuente (ver figura 40).

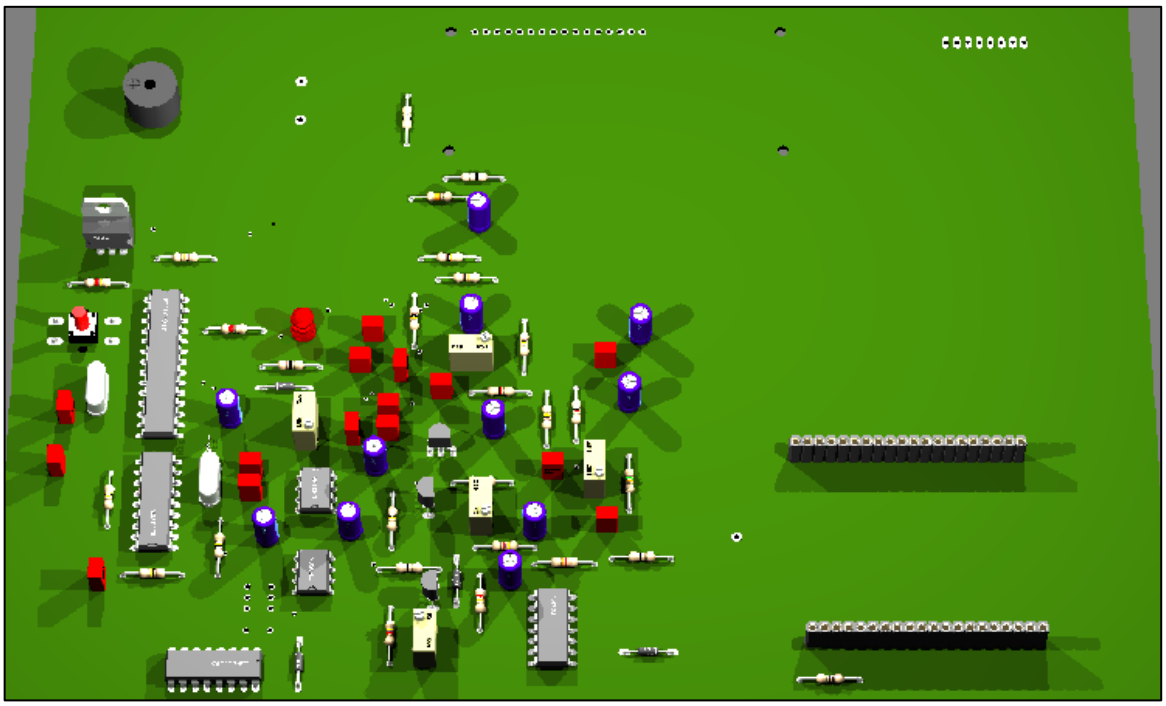


Figura 44. Proyección del circuito del módulo del puesto de enfermería en 3D (Elaboración propia).

8. INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL EQUIPO

El sistema *Nurse Call* fue diseñado para facilitar la vida de las personas durante el tiempo que estén hospitalizados y el trabajo de las enfermeras para ubicar más rápidamente el usuario con dificultad. El sistema *Nurse Call* consta de dos módulos, uno que va instalado en la habitación y otro que estaría situado en el puesto de enfermería, el módulo de la habitación está compuesto por el módulo de transmisión y recepción que este a su vez tiene un micrófono y un parlante para que el usuario pueda establecer comunicación con el puesto de enfermería, el pulsador aéreo, el pulsador de emergencia situado en el baño y la baliza o indicador luminoso que se encuentra situado en la parte exterior de la entrada de la habitación para la rápida ubicación del usuario solicitante; el módulo del puesto de enfermería está compuesto por el módulo de transmisión y recepción que este a su vez tiene un micrófono y un parlante para que la enfermera pueda establecer comunicación con el usuario y tiene un LCD donde muestra el número de la habitación de la que se están comunicando.

Pasos para establecer comunicación:

Habitación – puesto de enfermería:

1. Accionar el pulsador aéreo ubicado al lado de la cama o el pulsador de emergencia situado en el baño.

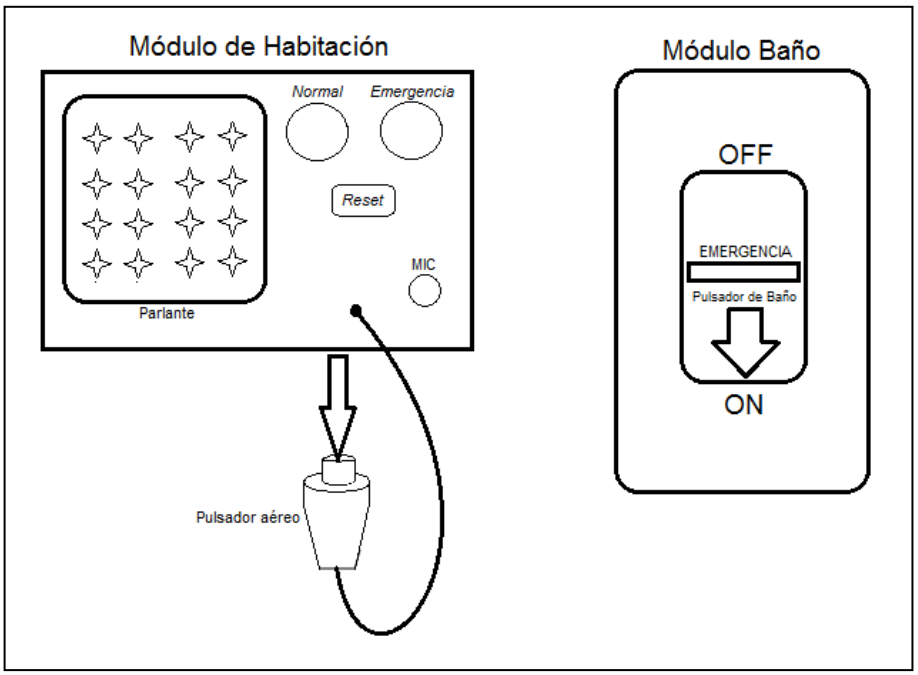


Figura 45. Pulsadores ubicados en la habitación y en el baño.

2. Esperar que la enfermera establezca comunicación con el usuario y poder solicitar la ayuda respectiva.

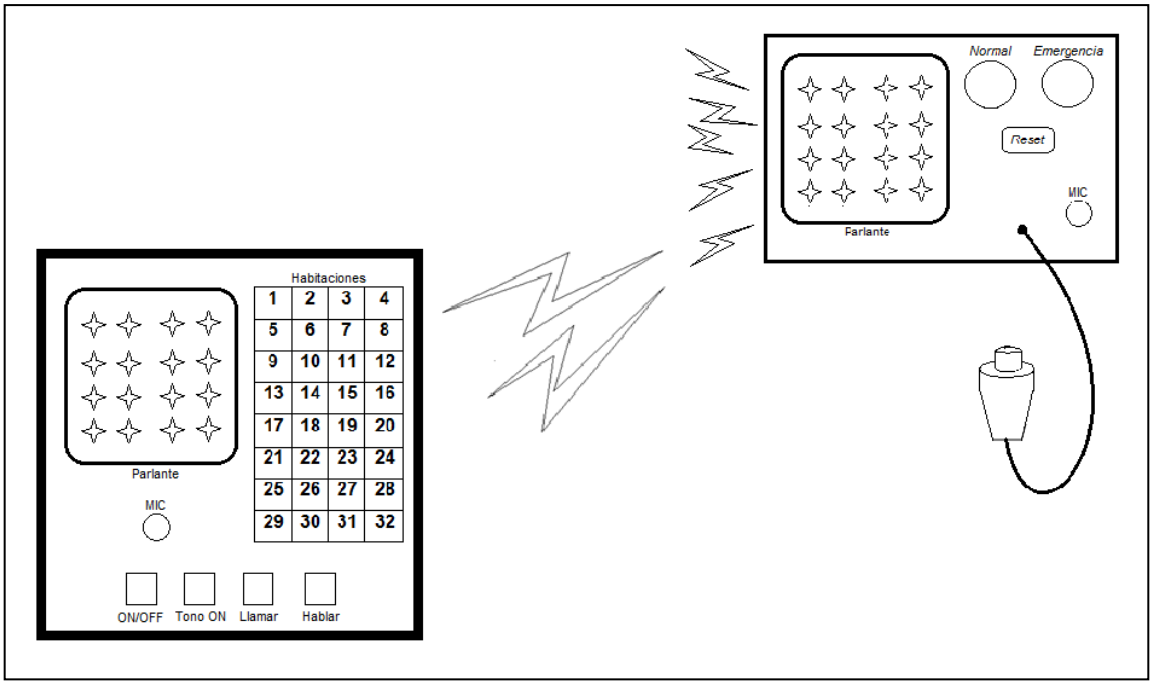


Figura 46. Comunicación establecida entre el puesto de enfermería y la habitación.

Puesto de enfermería – habitación:

1. Se presiona el número de la habitación con la que se desea establecer comunicación y luego presionamos el botón llamar.

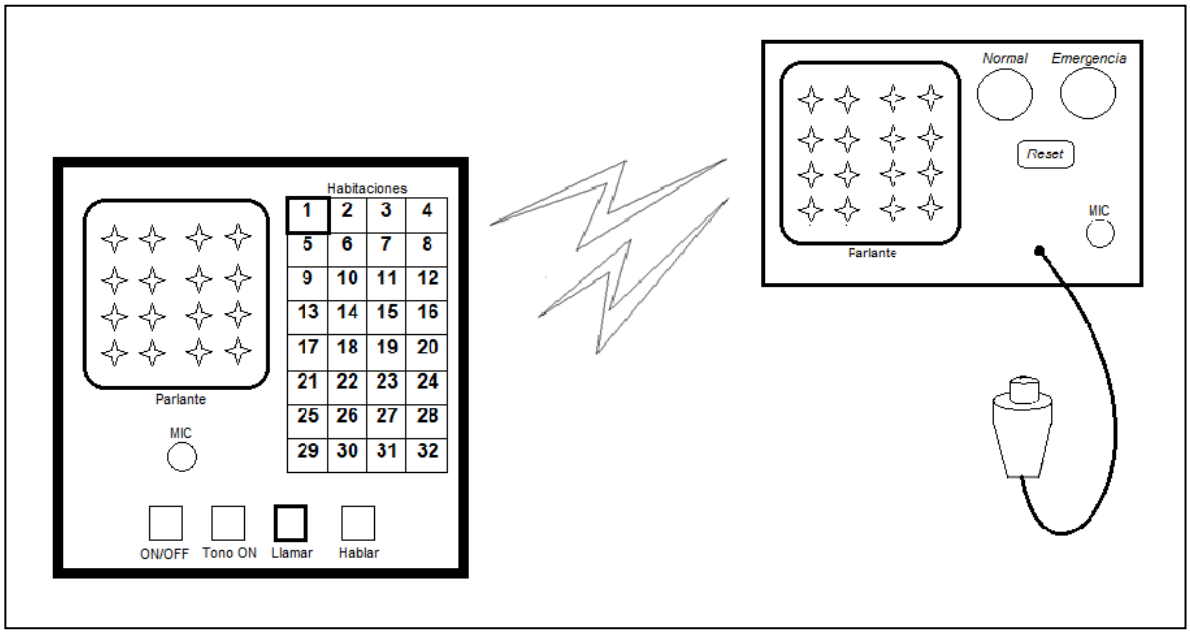


Figura 47. Realizando llamado desde el puesto de enfermería hacia la habitación.

9. CÓDIGO DE LOS MICROCONTROLADORES

Se procede a mostrar el código realizado para el funcionamiento de los microcontroladores y posterior control tanto del módulo de la habitación como del módulo del puesto de enfermería, el código que se utilizó para la programación de los microcontroladores fue desarrollado en el editor *MicroCode Studio* utilizando el lenguaje *Basic* y posteriormente compilado con *Pic Basic Pro*.

9.1 CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR DEL MÓDULO DE LA HABITACIÓN.

```
DEFINE OSC 10

TRISA= %00010011
TRISB= %00000001
TRISC= %00001111
ANSEL= %00000000
ANSELH=%00000000
ADCON0=$00

A VAR BYTE          ' SW AEREO
B VAR BYTE          ' SW BAÑO
C VAR BYTE          ' FUENTE RX/ TX
D VAR BYTE          ' CONTROL RX SP
E VAR BYTE          ' CONTROL TX MIC
DATO VAR BYTE

INICIO:
PORTB.6=1                   'OFF AMPLIFICADOR
PORTA.2=0                   'APAGA LAMPARA EXTERIOR
DATO=0
''''''''''''''''  FUNCIONES
```

```
'''''''''LLAMADO DEL PUESTO DE EMFERMERIA

PORTA.3=0                    'ACTIVA FUENTE DE RX / SP
GOSUB LEER
IF DATO=1 THEN LLAMADO

'''''''''LLAMADO NORMAL DE LA HABITACION

A=0                          'SW HABITACIÓN
A=PORTA.0
IF A=1 THEN LLNORMAL

'''''''''LLAMADO DE EMERGENCIA DEL BAÑO

B=0                          'SW BAÑO
B=PORTA.1
IF B=1 THEN LLEMER
GOTO INICIO

''''''''''''''''    CONTROL LLAMADO NORMAL

LLNORMAL:
PORTA.3=1                    'ACTIVA FUENTE DE TX / MIC
PAUSE 200
DTMFOUT PORTA.5,[1]          'ENVIA EL # 1
PAUSE 200
PORTA.3=0                    'ACTIVA FUENTE DE RX / SP
PAUSE 500
PORTA.2=1                    'ON LAMPARA EXTERIOR
GOSUB LEER
IF DATO=3 THEN LLAMADON      'DATO DE INICIO ASK
GOTO LLNORMAL
```

```
LLAMADON:
PORTA.2=0                'OFF LAMPARA EXTERIOR
PORTA.3=1                'ACTIVA FUENTE DE TX / MIC

CHEMICN:
PAUSE 100
E=0
E=PORTB.7
IF E=1 THEN CHEMICN

PORTA.3=0                'ACTIVADO MÓDULO DE RX / SP
PORTB.6=0                'ON AMPLIFICADOR
CHESPN:
PAUSE 100
D=0
D=PORTA.4
IF D=1 then CHESPN
IF E=0 THEN LLNFIN
GOTO LLAMADON

LLNFIN:
PORTA.3=1                'ACTIVA FUENTE RX / SP
PORTB.6=1                'OFF AMPLIFICADOR
GOTO INICIO

''''''''''''''''CONTROL LLAMADO DE EMERGENCIA

LLEMER:
PORTA.3=1                'ACTIVA FUENTE DE TX
PAUSE 100
DTMFOUT PORTA.5,[2]
PAUSE 200
```

```
PORTA.2=1                    'LAMPARA EXTERIOR
B=PORTA.1
IF B=0 THEN DTMFOUT PORTA.5,[3]
GOTO LLEMER

''''''''''      CONTROL LLAMADO DE CONSOLA

LLAMADO:
PORTA.3=1                    'ACTIVA FUENTE DE TX
PAUSE 100
DTMFOUT PORTA.5,[3]          'SEÑAL DE RESPUESTA
PAUSE 500

CHESP:
PORTB.6=0                    'ON AMPLIFICADOR
PORTA.3=0                    'ACTIVA FUENTE RX / SP
PAUSE 300
D=0                          'SAMPLE SP
D=PORTA.4
IF D=1 then CHESP

CHEMIC:
PORTA.3=1                    'ACTIVA FUENTE TX / MIC
PAUSE 100
E=0                          'SAMPLE MIC
E=PORTB.7
IF E=1 then CHEMIC
IF D=1 THEN CHESP
GOTO INICIO                  'RETORNA A INICIO DE PROGRAMA

''''''''''''LECTURA DE PINES
```

```
LEER:
IF PORTC.0=0 AND PORTC.1=0 AND PORTC.2=0  THEN DATO=0
IF PORTC.0=1 AND PORTC.1=0 AND PORTC.2=0  THEN DATO=1
IF PORTC.0=0 AND PORTC.1=1 AND PORTC.2=0  THEN DATO=2
IF PORTC.0=1 AND PORTC.1=1 AND PORTC.2=0  THEN DATO=3
RETURN
END
```

9.2 CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR DEL MÓDULO DEL PUESTO DE ENFERMERÍA.

```
DEFINE OSC 10

'-------------------------
DEFINE LCD_DREG PORTC   ' SETEA EL PORT DE DATOS LCD
DEFINE LCD_DBIT 4 ' SETEA EL BIT DE COMIENZO DE DATOS (0 O 4) SI EL BUS ES DE 4-BIT
DEFINE LCD_RSREG PORTA ' SETEA EL PORT LCD REGISTER SELECT
DEFINE LCD_RSBIT 0 'SETEA EL BIT LCD REGISTER SELECT
DEFINE LCD_EREG PORTA ' SETEA EL PORT LCD ENABLE
DEFINE LCD_EBIT 1 ' SETEA EL BIT LCD ENABLE
DEFINE LCD_BITS 4 ' SETEA EL TAMAÑO DEL BUS LCD (4 O 8 BITS)
DEFINE LCD_LINES 2  ' SETEA EL NUMERO DE LINEAS EN EL LCD
DEFINE LCD_COMMANDUS 2500 ' SET COMMAND DELAY TIME IN US
DEFINE LCD_DATAUS 50 ' SET DATA DELAY TIME IN US

TRISA= %00011000
TRISB= %00001100
OPTION_REG.7=0
PORTB = %11111100
TRISC= %00000111

ANSEL=%00000000
```

```
ANSELH=%00000000
ADCON0=$00

'VARIABLES TECLADO  MATRICIAL
DA VAR BYTE
C VAR BIT               'SW BOSINA
A VAR BYTE
B VAR BYTE
D VAR BYTE               ' SEÑAL MIC
E VAR BYTE               ' SEÑAL SP
REPI VAR BYTE
KEY     VAR BYTE                    ;VARIABLE PARA TECLA PRESIONADA
KEY =0
DATO VAR BYTE
C1     VAR PORTB.7                  ;VARIABLES DE LAS COLUMNAS
C2     VAR PORTB.6
C3     VAR PORTB.5
C4     VAR PORTB.4

F1 VAR PORTB.3              ;VARIABLES DE LAS FILAS TECLADO MATRICIAL
F2 VAR PORTB.2

'INICIO DE PROGRAMA

INICIO:
PORTC.3=1                    'OFF AMPLIFICADOR SP
PORTA.2=0                    'ACTIVADO MODULO DE RX
PORTB.1=0                    'OFF INDICADOR ALARMAS
KEY = 0
DATO = 0

LCDOUT $FE,1,"SISTEMA: "
```

```
LCDOUT  $FE,$C0,  "NURSE CALL"
PAUSE 50

''''''''''' FUNCIONES  DE SEÑALES DE HABILITACION

''''''''''     LLAMADO DEL PUESTO EMFERMERIA SW BOCINA
C=0
C=PORTA.3
IF C=1 THEN ROTAR                    'SEÑAL DE BOCINA

''''''''''    LLAMADO DE HABITACION NORMAL

GOSUB LEER
IF DATO = 1 THEN  MDATO
GOTO INICIO

''''''''''''' LLAMADO DE EMERGENCIA

GOSUB LEER
IF DATO = 2 THEN  MDATOE
GOTO INICIO

MDATOE:
LCDOUT $FE,1,"HABITACION # 1"
LCDOUT  $FE,$C0,  "EMERGENCIA "
PAUSE 50
PORTB.1=1                    'INDICADOR ALARMAS
PORTA.2=0                    'ACTIVADO MODULO DE RX / SP
PAUSE 200
GOSUB LEER
IF DATO=3 THEN INICIO
```

```
''''''''''''''' LLAMADO DE HABITACION NORMAL

MDATO:
LCDOUT $FE,1,"HABITACION # ", DEC DATO
LCDOUT  $FE,$C0,  "LLAMANDO "
PAUSE 50

PORTB.1=1                  'ALARMA DE HABITACION  ON
C=PORTA.3                   ' SW BOCINA
IF C=0 THEN MDATO             'BOCINA COLGADA
PAUSE 100
DTMFOUT PORTA.5,[3]            ' ASK RESPUESTA
PAUSE 300
PORTB.1=0                  'ALARMA  DE HAB  OFF

CHEMICH:
PORTA.2=1                  'ACTIVADO MODULO DE TX  MIC
PAUSE 100
D=0
D=PORTB.0                    'SAMPLE MIC D
IF D=1 THEN CHEMICH

CHESPH:
PORTA.2=0                    'ACTIVADO MODULO DE RX SP
PORTC.3=1                    ' ON AMPLIFICADOR SP
PAUSE 100
E=0
E=PORTA.4
IF E=1 THEN CHESPH
IF C=1 THEN CHEMICH
GOTO INICIO
```

```
''''''''''''''''''RUTINA DEL TECLADO

ROTAR:
GOSUB  GETKEY
GOSUB ANT_REB
IF KEY = 0 THEN INICIO
PAUSE 100
LCDOUT $FE,1,"HABITACION: ", DEC KEY
LCDOUT  $FE,$C0,  "LLAMANDO"
PAUSE 50

''''''''''''''''''''LLAMANDO DE LA CONSOLA

LLAMADO:
IF C=0 THEN INICIO
PORTA.2=1                    'ACTIVADO MODULO DE TX / MIC
IF KEY = 1 THEN DTMFOUT PORTA.5,[1]
PAUSE 500
PORTA.2=0                     'ACTIVADO MODULO DE RX /  SP
GOSUB LEER
IF DATO=3 THEN CHESP
GOTO LLAMADO

CHEMIC:
PORTA.2=1                      'ACTIVADO MODULO DE TX / MIC
PAUSE 100
D=0
D=PORTB.0
IF D=1 THEN CHEMIC
CHESP:
PORTA.2=0                    'ACTIVADO MODULO DE RX / SP
PORTC.3=0                    'ON AMPLIFICADOR SP
```

```
PAUSE 100
E=0
E=PORTA.4
IF E=1 THEN CHESP
IF D=1 THEN CHEMIC
GOTO INICIO

LEER:
IF PORTC.0=0 AND PORTC.1=0 AND PORTC.2=0  THEN DATO=0
IF PORTC.0=1 AND PORTC.1=0 AND PORTC.2=0  THEN DATO=1
IF PORTC.0=0 AND PORTC.1=1 AND PORTC.2=0  THEN DATO=2
IF PORTC.0=1 AND PORTC.1=1 AND PORTC.2=0  THEN DATO=3

RETURN

'*****************RUTINA DE LECTURA DEL TECLADO  ************************
'RUTINA DE LECTURA DEL TECLADO
GETKEY:
    LOW F1                              ;PONER EN BAJO LA 1RA FILA
    PAUSE 10
  IF C1   = 0 THEN KEY=1  :RETURN       ;SI FUE PRESIONADA LA TECLA
  IF C2   = 0 THEN KEY=2  :RETURN       ;Y ASI SUCESIVAMENTE
  IF C3   = 0 THEN KEY=3  :RETURN
  IF C4   = 0 THEN KEY=10 :RETURN

    HIGH F1                             ;PONER EN ALTO LA 1RA FILA
    LOW F2                              ;PONER EN BAJO LA 2DA FILA
    PAUSE 10
  IF C1   = 0 THEN KEY=4  :RETURN       ;SI FUE PRESIONADA LA TECLA
  IF C2   = 0 THEN KEY=5  :RETURN       ;Y ASI SUCESIVAMENTE
  IF C3   = 0 THEN KEY=6  :RETURN
  IF C4   = 0 THEN KEY=11 :RETURN
```

```
      HIGH F2                          ;PONER EN ALTO LA 1RA FILA
                                       ;PONER EN ALTO LA 4TA FILA
      PAUSE 10
 RETURN

'************************ RUTINA ANTI_REBOTE ***************************
'RUTINA ANTI_REBOTE
ANT_REB:
   WHILE ((C1 = 0) OR (C2 = 0) OR (C3 = 0) OR (C4 = 0))
       PAUSE 25
    WEND
RETURN

END
```

10. CONCLUSIONES

- Los módulos de transmisión y recepción que se adquirieron no fueron los más adecuados para la aplicación que se pretendía desarrollar debido a que tenían como limitación de su diseño que no era permitido estar encendidos ambos al mismo tiempo, solo se podían utilizar uno a la vez.
- Al ser independientes los módulos no eran bidireccionales lo cual nos conllevó a realizar un muestreo de señal o samplehold para activar o desactivar los módulos para poder lograr una comunicación bidireccional, pero este tiene un funcionamiento deficientemente a la hora de establecer una comunicación debido a que no se logra una comunicación fluida.
- El microcontrolador se programó para generar los tonos DTMF, se tuvieron dificultades a la hora de hacer la decodificación de los tonos con el circuito integrado HT9170B debido a que la señal generada por el microcontrolador no era identificada por este integrado.
- Después de realizar pruebas y mediciones con el osciloscopio se identificó que los tonos eran decodificados por el HT9170B pero era necesario anular el condensador de salida del cristal oscilador del microcontrolador.
- Se identificó que el amplificador de audio debe tener un ancho de banda superior a 20KHz para poder que los tonos DTMF sean decodificados.
- Se diseñó un sistema de comunicación bidireccional el cual cumple con las condiciones de llamado normal y de emergencia pero no fue posible implementarlo por deficiencias en los módulos de transmisión y recepción de audio.

11. RECOMENDACIONES PARA FUTUROS DESARROLLOS CON FINES SIMILARES.

Con relación al avance de estos sistemas en la actualidad nacional e internacional y las exigencias del medio que cada vez son más exigentes con los desarrollos tecnológicos, se plantea realizar este sistema de llamado a enfermeras con cámaras inalámbricas con sistema de transmisión WiFi.

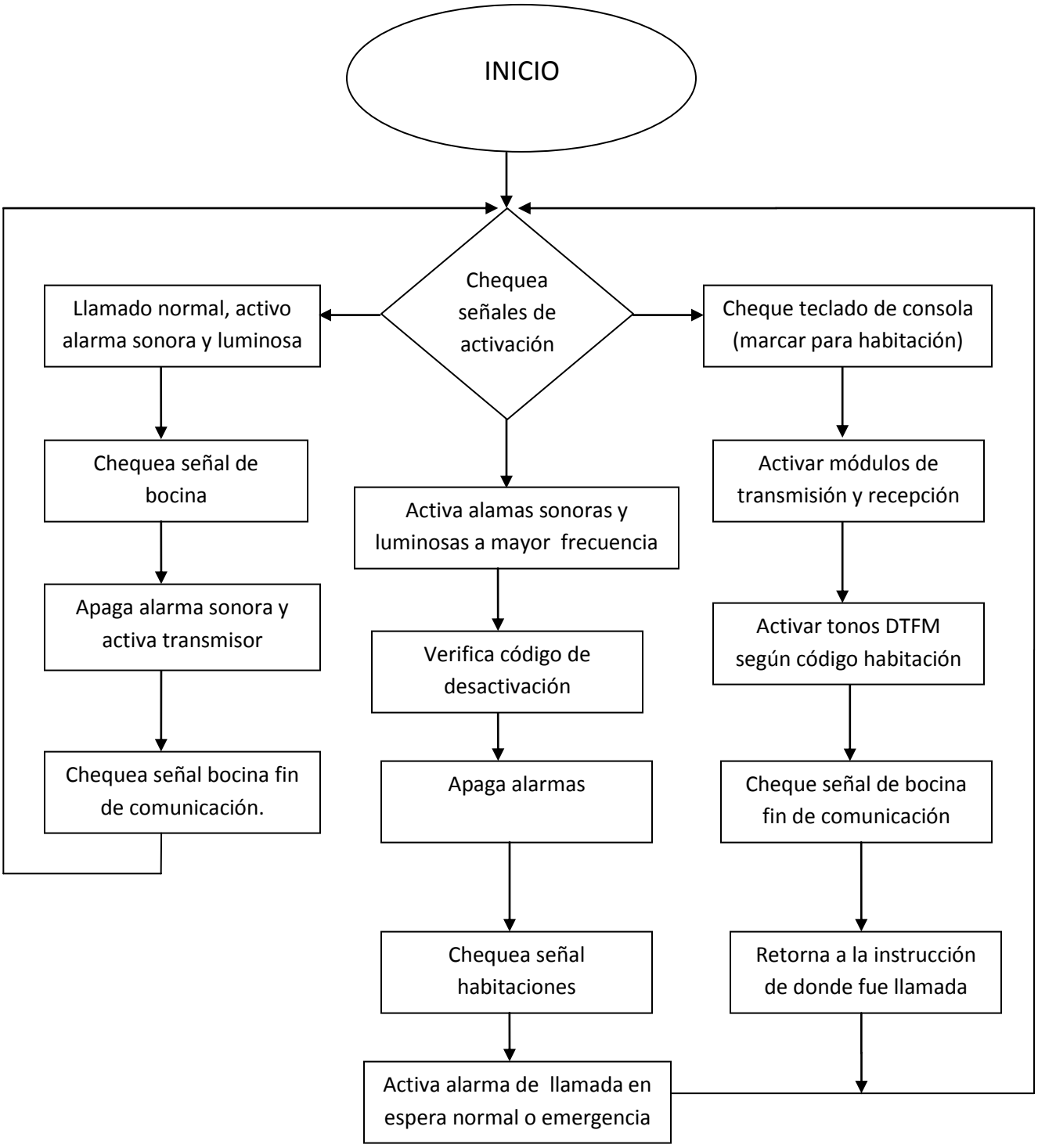
Estas cámaras son de precios muy accesibles y manejan voz, video y datos, y así se aprovecharían completamente las bondades del direccionamiento IP, que son protocolos de enrutamiento que permiten una escalabilidad muy amplia para realizar implementación de otras habitaciones.

Se puede integrar un software de alto rendimiento con los de la institución hospitalaria que ayuden con la prevención de riesgos físicos y sanitarios del paciente y que le facilite la labor al personal de enfermería.

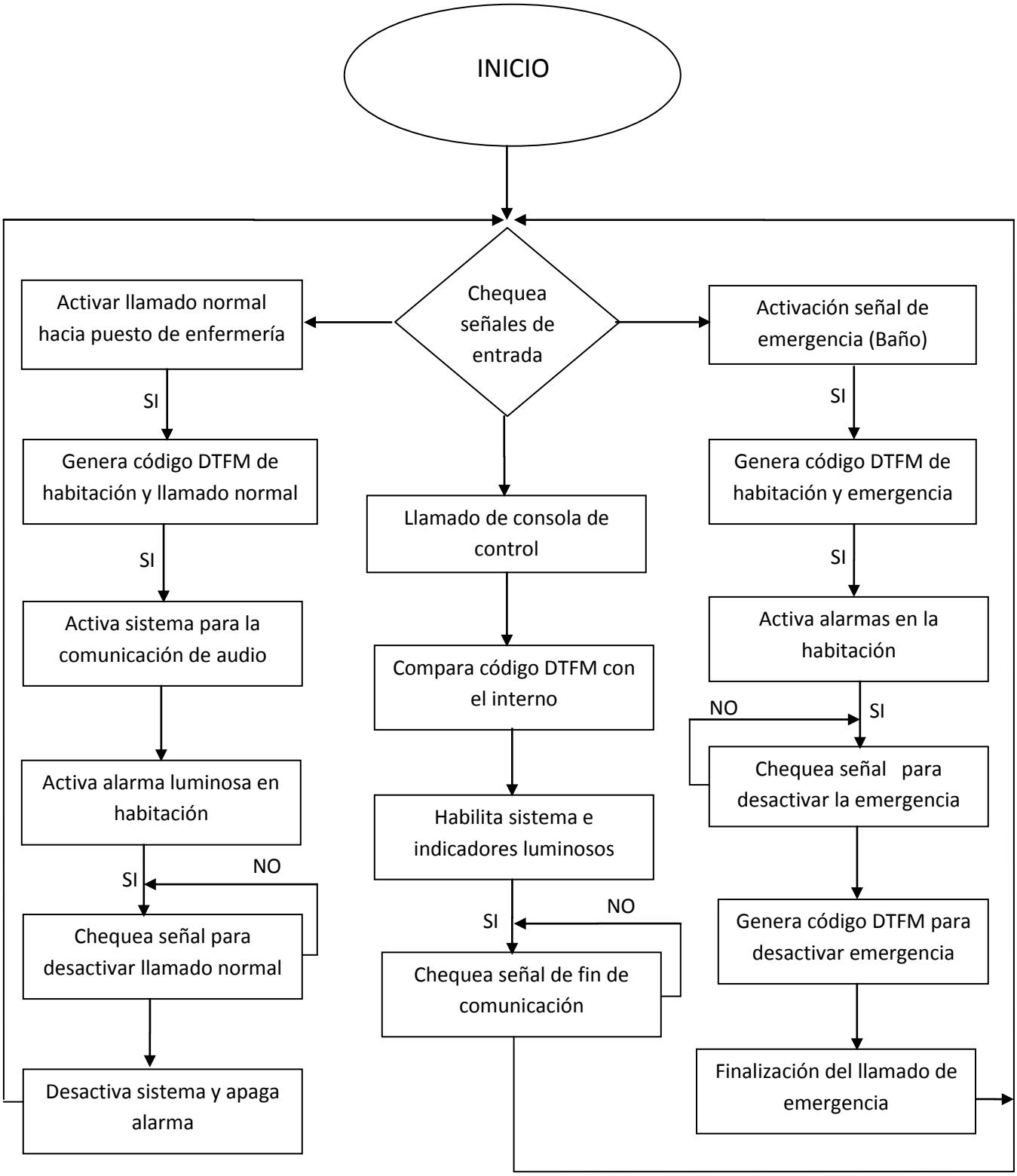
Deben ser de fácil instalación los módulos de habitación y de fácil administración de la red, por manejar datos y anchos de banda alrededor de 1 y 2 Megas facilita la implementación de dispositivos de monitoreo del paciente lo que permite ser un sistema con muchos beneficios, y distancias de alcance entre los 40 y 60 mts.

12. DIAGRAMAS DE FLUJO

12.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CONSOLA


INICIO
Chequea señales de activación
Llamado normal, activo alarma sonora y luminosa
Chequea señal de bocina
Apaga alarma sonora y activa transmisor
Chequea señal bocina fin de comunicación.
Activa alamas sonoras y luminosas a mayor frecuencia
Verifica código de desactivación
Apaga alarmas
Chequea señal habitaciones
Activa alarma de llamada en espera normal o emergencia
Cheque teclado de consola (marcar para habitación)
Activar módulos de transmisión y recepción
Activar tonos DTFM según código habitación
Cheque señal de bocina fin de comunicación
Retorna a la instrucción de donde fue llamada

12.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA HABITACIÓN



13. PRESUPUESTO

RECURSO HUMANO FABRICACION		EQUIPOS		INSUMOS		LOCAL		TRANSPORTE		RECURSO HUMANO INVESTIGACION	
Descripción	Costo	Descripción	Costo	Descripción	Costo	Descripción	Costo	Descripción	Costo	Descripción	Costo
Ingeniero eléctrico	4.650.000	Equipos de oficina	1.800.000	Insumos oficina	80.000	Arriendo	650.000	Viáticos	400.000	Ingeniero eléctrico	881.562
Fabricación PCB	220.000	Multímetro	190.000	Componentes electrónicos consola de control	368.000	Adecuación					
Ensamble del equipo	50.000	Herramienta de mano	150.000	Carcasa o Chasis consola	60.000	Escritorio					
Montaje en el sitio	50.000	Osciloscopio / alquilado	50.000			Lámparas					
		Frecuencímetro / alquilado	40.000	Componentes electrónicos modulo habitación	478.000	Sillas					
		Maletín	55.000	Carcasa o Chasis habitación	15.000	Mesa					
		Protoboar	30.000	Soldadura	10.000	Servicios públicos					
		Programador de PIC	250.000	Varios	40.000						
			55.000								
			35.000								
Total	4.970.000		2.715.000		1.051.000		650.000		400.000		881.562
	10.667.562										

Los precios de este presupuesto son tentativos

14. REFERENCIAS

[1] Guarascio-Howard, Linda. (2011). Examination of wireless technology to improve nurse communication, response time to bed alarms, and patient safety. HEALTH ENVIRONMENTS RESEARCH & DESING JOURNAL, HERD vol. 4, No 2. PP 109-120. ISSN 1937-5867.

[2] Gundanna, Veda & Agrillo, Leo J. (2003). Wireless business system-health care application: Nurse call system integration. Bell Labs Technical Journal – October-December 2000. 171-184

[3] http://webtools.delmarlearning.com/sample_chapters/MU-04.PDF

[4] Blake, Roy. (2004). Sistemas electrónicos de comunicaciones (2ed). 136-137. ISBN 970-686-365-6

[5] http://www.alegsa.com.ar/Diccionario/C/6397.php

[6] http://www.angelfire.com/electronic2/electros601/DTMF.htm

[7] Huidobro Moya, José Manuel & Conesa Pastor, Rafael. (2006). Sistemas de telefonía (5ed). 33-34. ISBN 84-283-2927-3

[8] http://www.reocities.com/SiliconValley/bridge/6429/derecho.html

[9] http://microcontroladores-e.galeon.com/

[10] http://pjmicrocontroladores.wordpress.com/2006/11/06/%C2%BFque-es-un-microcontrolador/

[11] http://axnm.galeon.com/

[12] http://www.unicrom.com/Tel_espectroelectromagnetico.asp

[13] http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico

[14] http://www.carecaller.com/

[15] http://www.lcdtcorp.com/index.php/receptor-inalambrico-para-hasta-40-transmisores-y-40a-y-40c.html

[16] http://www.nevatec.es/products/sienalite

[17] http://www.tsc.urjc.es/Master/RETEPAD/sites/default/files/Material_Adicional_Ficha3_2.pdf

[18] IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, Std 145-1983, Revision of ANSI/IEEE Std 145-1973.

[19] http://www.ieslaaldea.com/documentos/tecnologia/tecnocomunic01.pdf

[20] Kristen L. Straka, MSN, RN, CPN. (2010). Wireless Telephone Systems and the Impact on Patient Satisfaction Scoring: A Pilot Study. Journal of Pediatric Nursing, ELSEVIER, 25, 33-34.

[21] Femke Ongenae, Maxim Claeys, Wannes Kerckhove, Thomas Dupont, Piet Verhoeve, Filip DeTurck, (2014) , A self-learning nurse call system, Department of Information Technology(INTEC), Ghent University, Belgium, iMinds VZW, Gaston Crommenlaan, Ghent, Belgium, ELSEVIER, 44, 110-123.

[22] http://www.holtek.com/pdf/comm/9170v111.pdf

[23] http://www.farnell.com/datasheets/1640767.pdf